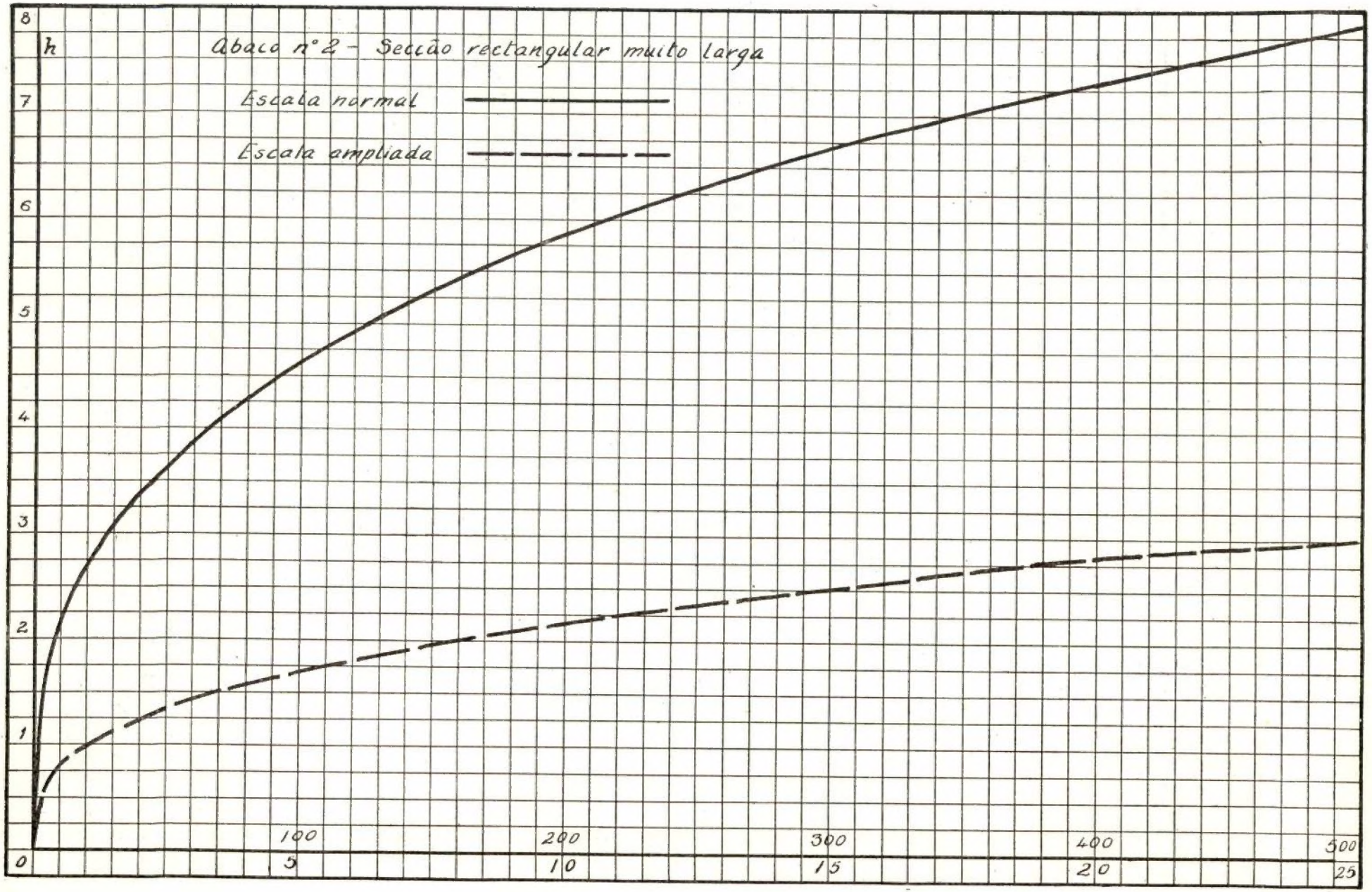
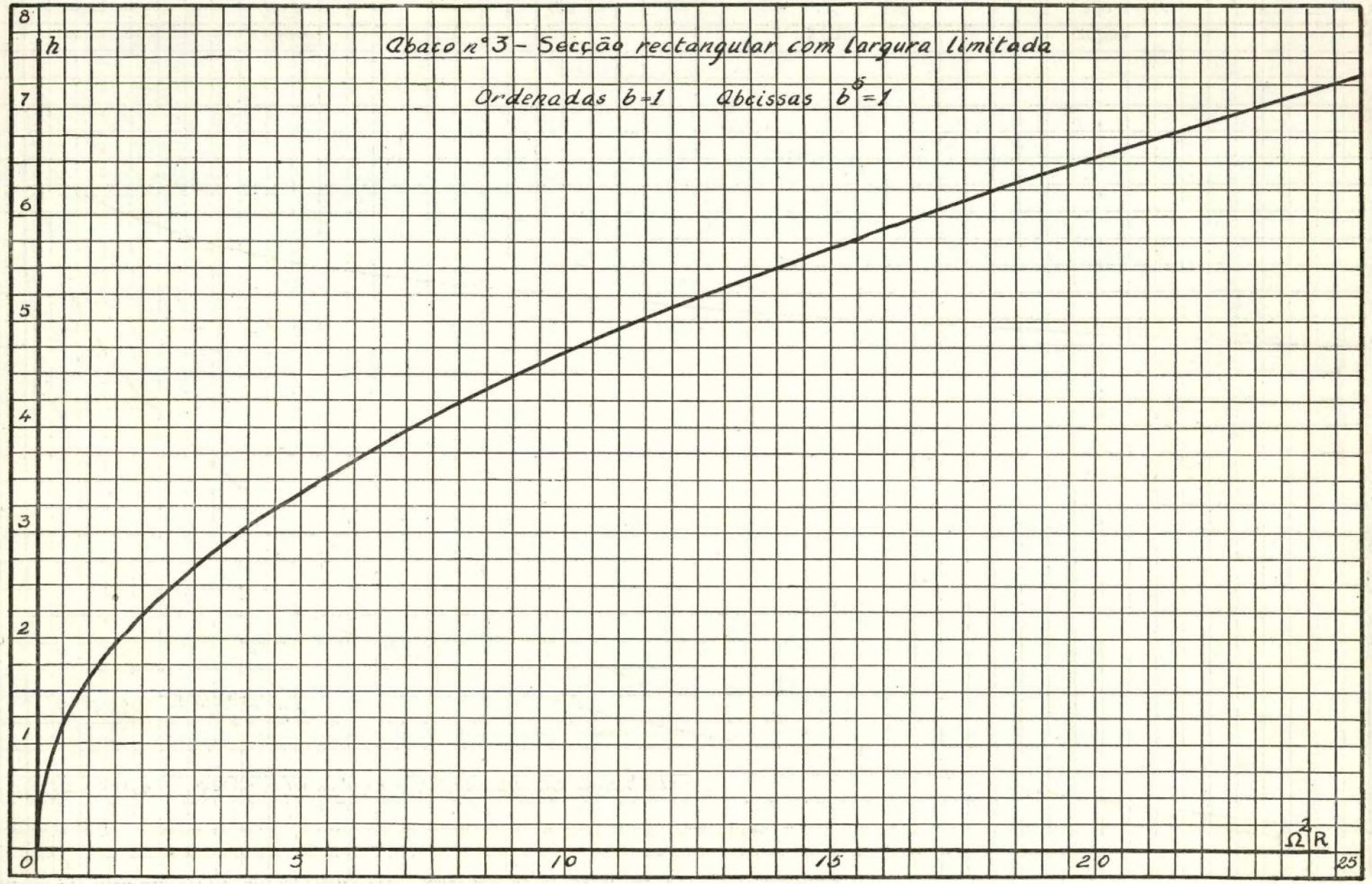
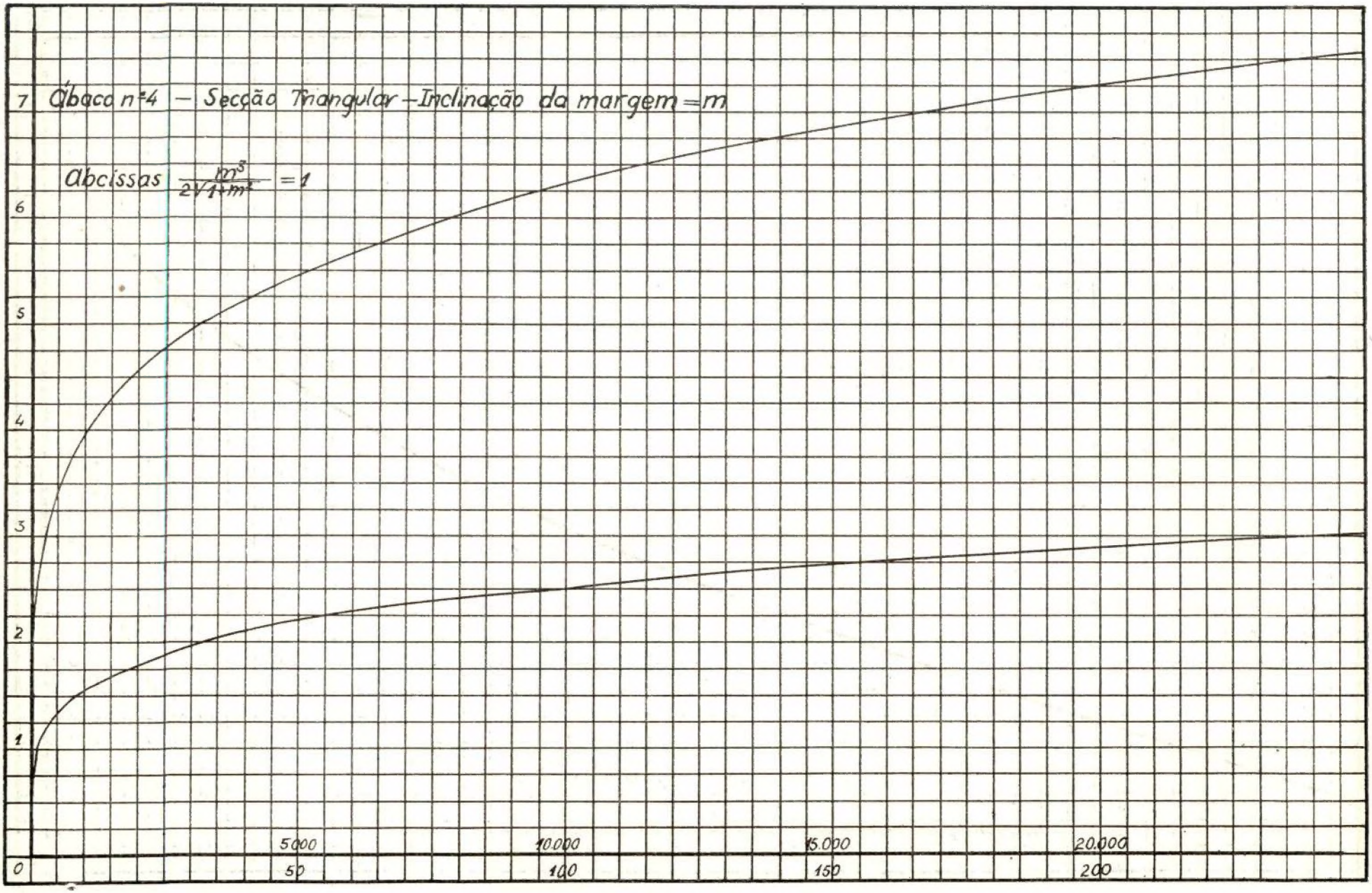
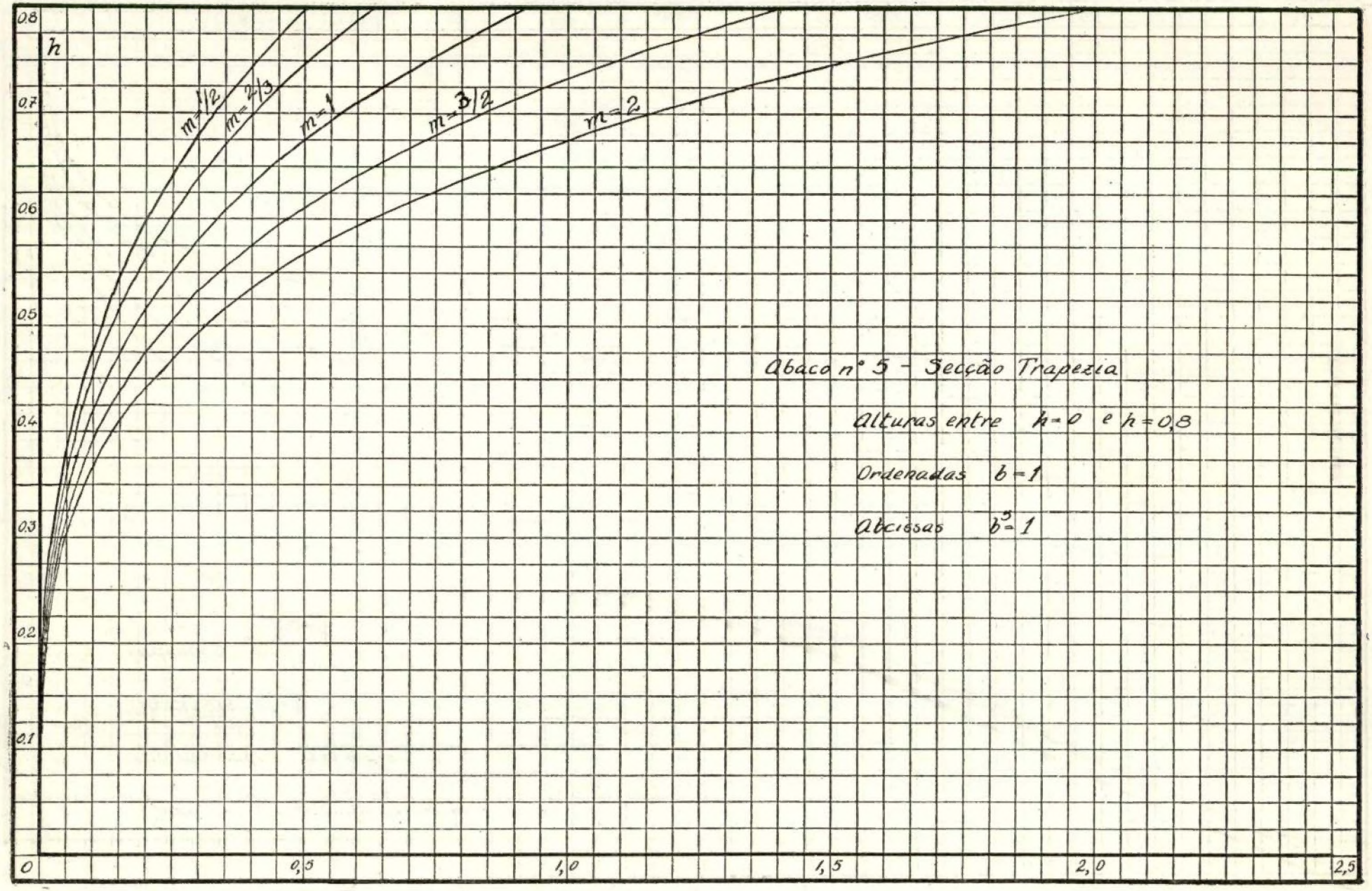

Abaco nº 2 - Secção rectangular muito larga
Escala normal
Escala ampliada
h
8
7
6
5
4
3
2
1
0
100
200
300
400
500
5
10
15
20
25


Abaco nº 3 - Secção rectangular com largura limitada
Ordenadas b=1
Abcissas b⁶=1
h
8
7
6
5
4
3
2
1
0
5
10
15
20
25
Ω²R


Ábaco nº4 — Secção Triangular — Inclinação da margem = m
Abcissas $\frac{m^3}{2\sqrt{1+m^2}} = 1$
7
6
5
4
3
2
1
0
5000
10000
15000
20000
50
100
150
200

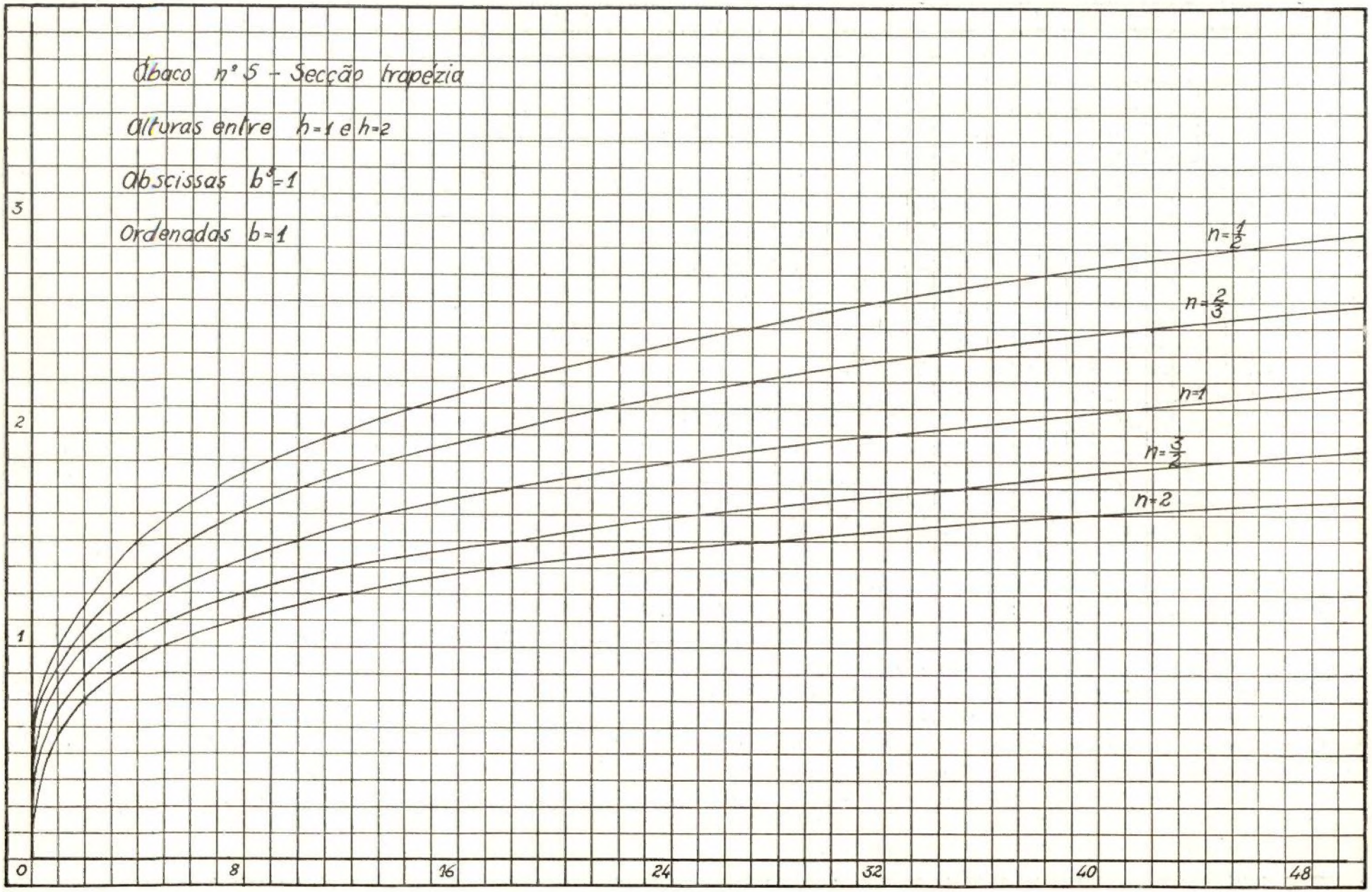

h
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0,5
1,0
1,5
2,0
2,5
m=1/2
m=2/3
m=1
m=3/2
m=2
Abaco nº 5 - Secção Trapezia
Alturas entre h=0 e h=0,8
Ordenadas b=1
Abcissas b'=1

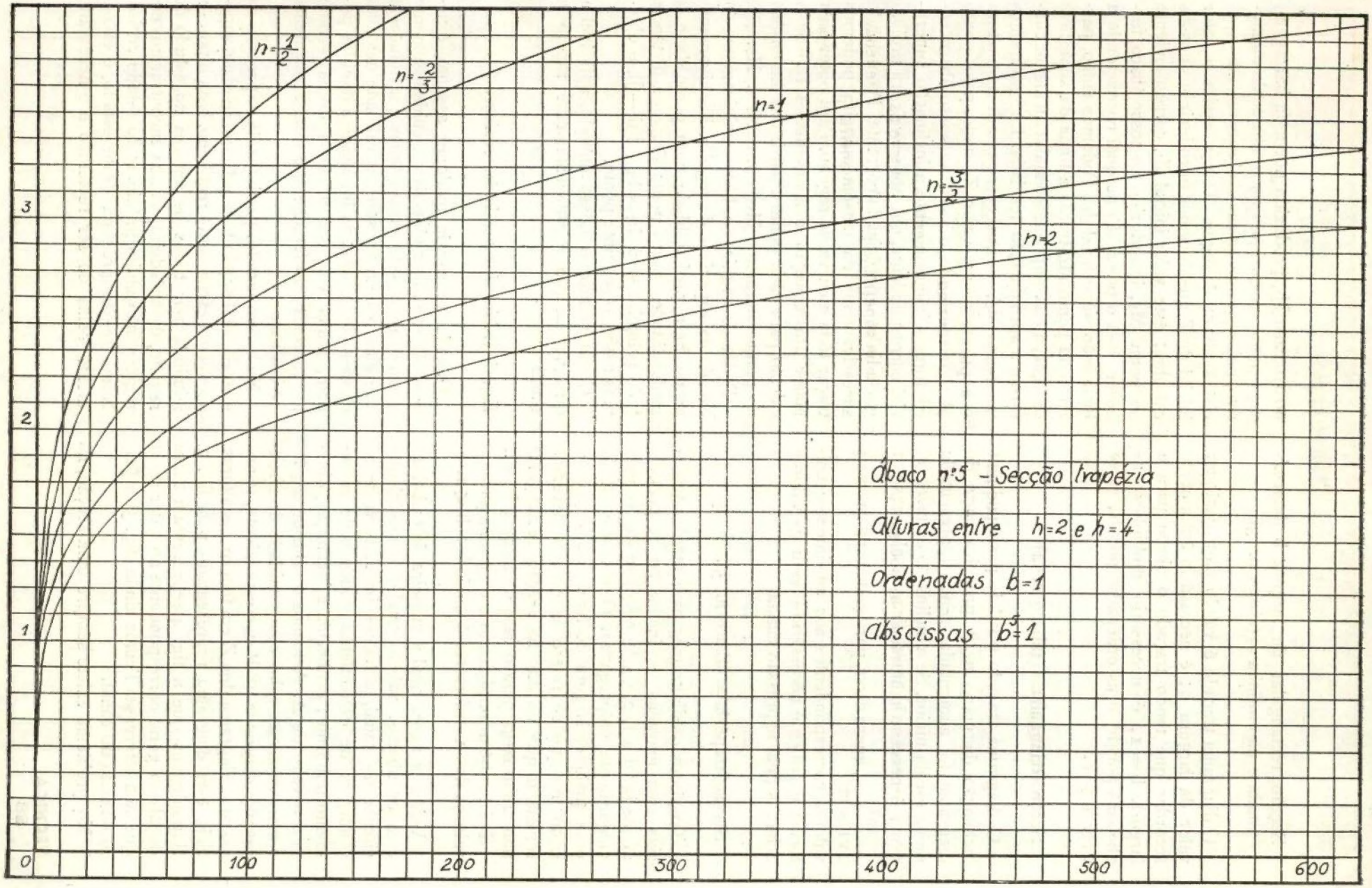
Ábaco nº 5 – Secção trapezia

Alturas entre $h=1$ e $h=2$

Abscissas $b^3=1$

Ordenadas $b=1$




n=1/2
n=2/3
n=1
n=3/2
n=2
3
2
1
0
100
200
300
400
500
600
Ábaco nº5 - Secção trapézia
Alturas entre h=2 e h=4
Ordenadas b=1
Abscissas b'=1

Secção rectangular de largura b determinada e não infinita = (ábaco n.º 3)

O diagrama traçado é válido para qualquer valor da largura b; é necessário ùnicamente recordar que tendo traçado o ábaco para a largura $b = 1$, é necessário multiplicar as abcissas por b^5 e as ordenadas por b, se se tiver $b \neq 1$.

Secção triangular = (ábaco n.º 4)

O diagrama traçado é válido para qualquer inclinação da margem. A primeira parte do diagrama foi aumentada, sendo representada numa escala maior. Se a inclinação da margem é m, é necessário multiplicar as abcissas por $\frac{m^3}{2\sqrt{1+m^2}}$, quere dizer, para marcar na curva os valores correspondentes aos movimentos uniforme e crítico é necessário dividir os valores achados pela expressão citada.

Secção trapézia = (ábaco n.º 5).

Traçámos os diagramas para secções trapézias com margens de inclinação respectivamente igual a 1, 2, $^3/_2$, $^2/_3$ e $^1/_2$ que são as mais vulgarmente empregadas. O ábaco é válido para qualquer largura do fundo da secção ou rasto; no que se refere às escalas devemos repetir o que foi dito na secção rectangular não muito larga para o caso da largura $b \neq 1$.

Foi também amplificado o diagrama para os valores de h inferiores à unidade: $h < 1$.

Vejamos agora qual a maneira de trabalhar com os ábacos. Sabido qual é o caudal que circula no canal, achamos imediatamente as condições de escoamento crítico e de escoamento uniforme; conhecida a inclinação, obtemos o valor de A. Achamos o valor de $\Omega^2_c R_c$ e marcamos êste valor como unidade de abcissas no diagrama $\Omega^2 R$ correspondente, temos assim o diagrama dos Z em função das alturas. Seja êste diagrama representado pela fig. 3. Suponhamos que a fig. 4 representa a curva do ábaco geral correspondente ao valor de A que nos interessa. Temos ainda (fig. 5) o perfil do leito do canal.

No problema existe sempre uma secção, no nosso caso M_1, produzida por uma barragem, uma ponte ou qualquer outro obstáculo ou motivo, cujas características conhecemos, em especial a altura da água. Temos assim o valor inicial de Z que devemos introduzir nos nossos cálculos; êste valor inicial Z_1, correspondente ao ponto M_1, introduzido no nosso ábaco, fornecer-me-á o ponto M'_1 ao qual corresponde a inclinação superficial J_1. Podemos então, partindo do ponto M_1, traçar a linha da superfície da água, num comprimento maior ou menor conforme a aproximação desejada. Encontraremos um ponto M_2, ao qual corresponde uma altura h_2 e portanto um valor Z_2 dado pelo ponto M''_2. Introduzindo o valor no nosso ábaco encontramos imediatamente a inclinação superficial correspondente, que nos serve para prolongar a linha superficial da corrente. Procedendo sucessivamente da mesma maneira podemos traçar tôda a curva do regolfo. Para obter uma maior aproximação é aconselhável repetir o cálculo para cada ponto a partir das dimensões do ponto intermédio M_{12} entre M_1 e M_2.

Podemos seguir também analìticamente o cálculo da superfície de regolfo. Efectivamente sendo h_1 a profundidade num ponto dado, a profundidade noutro ponto situado a distância l do primeiro será $h_2 = h_1 + l\,(i - J)$, e obtemos assim o seguinte ponto.

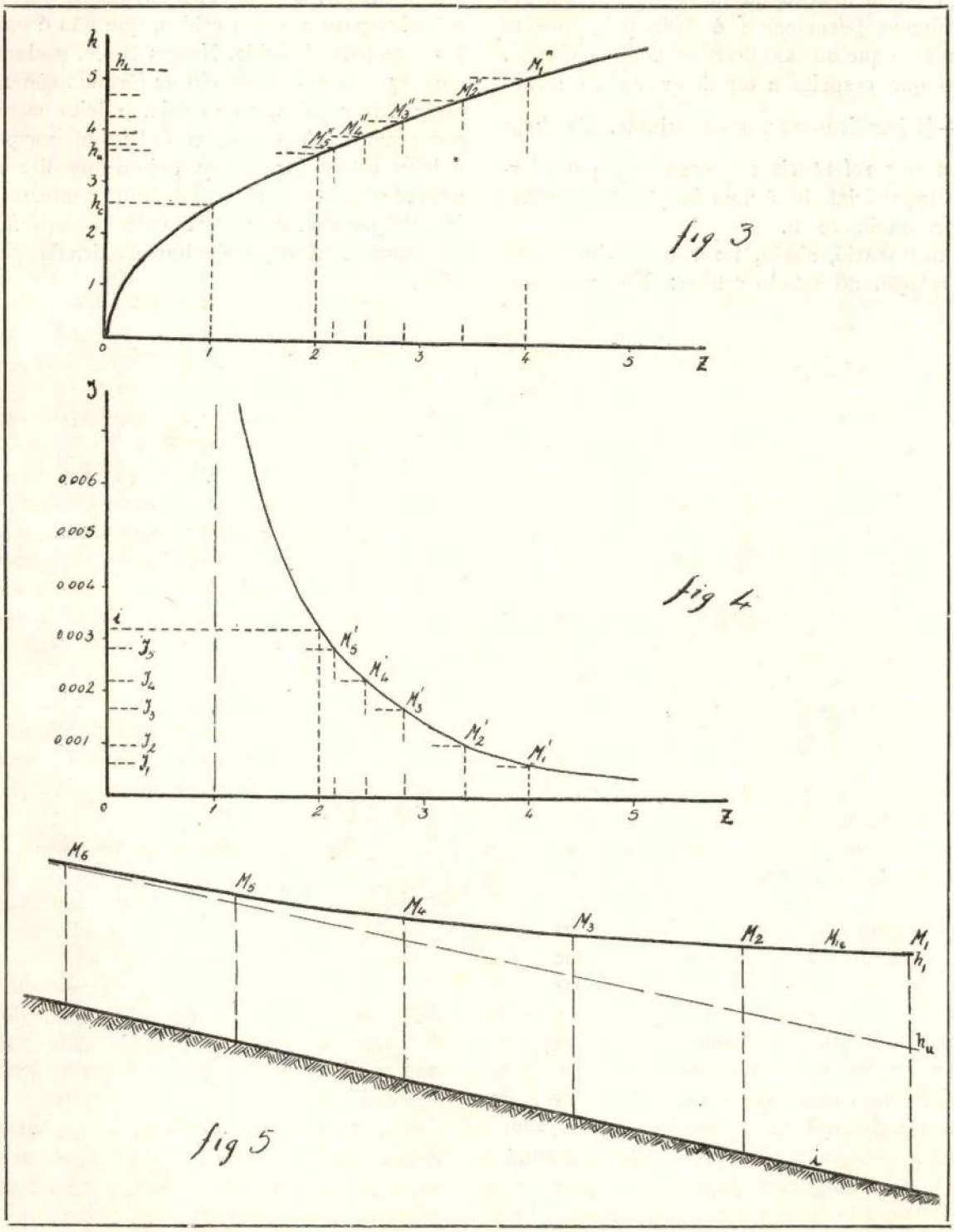
Como vemos, o nosso método, aplicável a qualquer secção é suficientemente rápido e simples.

Estudo crítico das conclusões obtidas.

Quando se estuda qualquer assunto, é necessário examinar objectiva e cuidadosamente a natureza das hipóteses feitas e a influência que elas podem ter sôbre a validade das conclusões deduzidas; as hipóteses admitidas podem, muita vez, ser a causa duma errada interpretação do fenómeno e dum afastamento de realidade.

No nosso estudo, partimos da expressão da energia total supondo $\beta = 1$, quere dizer suposemos um escoamento rectilíneo. Esta hipótese, admitida por todos os autores no estudo do regolfo, é verdadeira, se nos encontrarmos em regiões não muito próximas do estado crítico. Numa região próxima dêste estado, o escoamento deixa de ser rectilíneo e é necessário

introduzir a sua curvatura representada pelo coeficiente β diferente da unidade. Para êste caso, correspondente, por exemplo, ao ressalto ondulado, fazer-se-á um estudo particular. A hipótese não falseia a realidade em todos os casos nos quais a nossa fórmula é aplicável. O mesmo podemos dizer da hipótese feita supondo $\alpha = \text{cte}$.



Admitimos também, de acôrdo, aliás, com todos os autores que trataram do caso e com os resultados experimentais, que a perda de carga ou inclinação da linha de energia no movimento permanente é dada pela mesma expressão que no caso do movimento uniforme.

No que respeita a ter desprezado o termo $\frac{b\,\gamma_c}{b_c\,\gamma}$ já justificámos a nossa atitude. Também já fizemos referência aos casos em que a largura superficial b é uma função decrescente da profundidade h.

É necessário, ainda, fazer uma observação em relação ao estado crítico: Nos casos nos quais a secção $\Omega = f\,(h)$ apresenta discontinuïdades como, por exemplo, no caso da existência duma secção mista, formada por leito maior e leito menor, é possível a existência de duas soluções para a altura crítica, que não é então ùnivocamente definida. Nestes casos, podemos empregar o nosso método ou fórmula sòmente numa das regiões, como seja, o leito menor, por exemplo. A passagem do leito menor para o leito maior faz-se por meio duma discontinuïdade nas características do movimento, manifestada por uma discontinuïdade da superfície, com uma distribuïção não hidrostática das pressões.

APROVEITAMENTO
DO VALE DO SADO

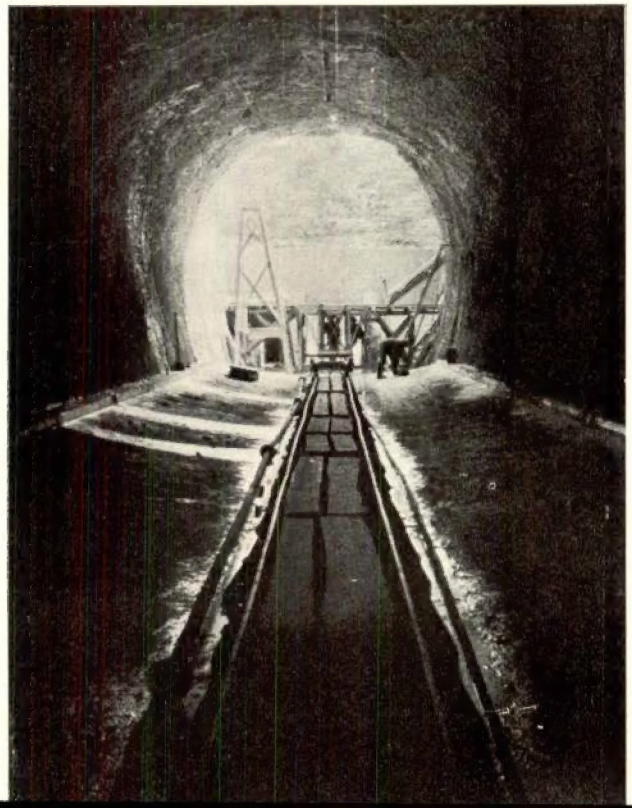
CURSO INFERIOR

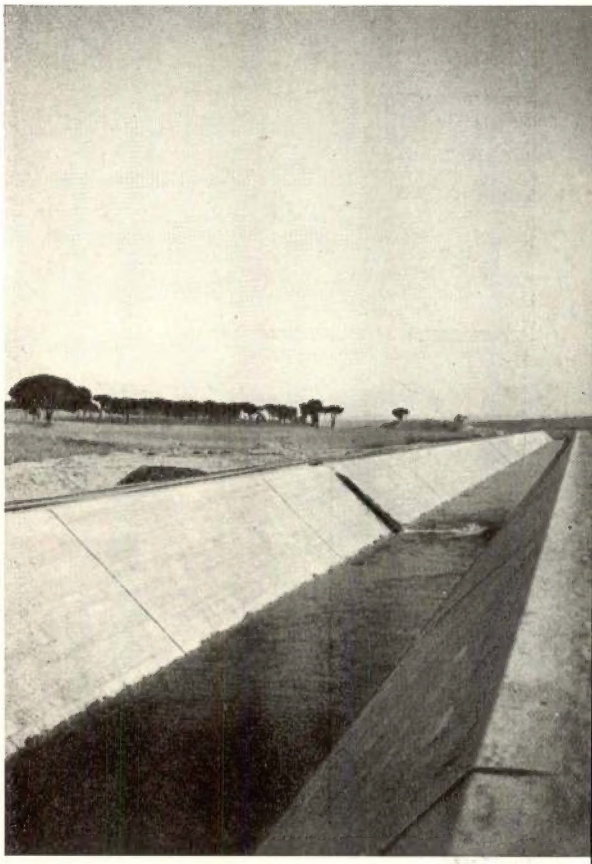
1.ª Parte

ENSECADEIRA DE MONTANTE DA ALBUFEIRA DO PÊGO DO ALTAR

HIDRÁULICA AGRÍCOLA

GALERIA DE DESVIO DA ALBUFEIRA DO PÊGO DO ALTAR ANTES DO REVESTIMENTO





CANAL VI REVESTIDO COM LASTRAS

DOC

AVENIDA

PORTOS

N.º 1

ARGINAL

LEIXÕES

FUNCHAL

HIDRÁULICA AGRÍCOLA

APROVEITAMENTO DOS CAMPOS DE BURGÃES — BARRAGEM DO CASTÊLO

APROVEITAMENTO DO PAÚL DA CELA — ESTAÇÃO DE BOMBAGEM E CASA DA FISCALIZAÇÃO

A dosagem dos betões, nos estaleiros, utilizando um método gráfico

PELO ENG. CIVIL (U. P.) D. M. VIEIRA BARBOSA

ASSISTENTE DA F. E. (U. P.)

No método gráfico que propuz para a dosagem dos betões e que, sem recorrer a um só valor tabelado e quási sem tentativas, permite resolver tão importante problema [1] notam-se deficiências quanto à aplicação prática corrente nos estaleiros; refiro-me à aplicação gráfica final e não ao estudo granulométrico que me parece satisfazer.

Com efeito:

Gráfico 1 — Quando se pretende obter betões de altas resistências, ultrapassa-se, freqüentemente, o valor de 2,5 para a relação $\frac{C}{A_g}$, o mesmo acontecendo se o betão se aplica utilizando os modernos processos de vibração ou pervibração (diminuïção de A_g); isto implica a impossibilidade da utilização da recta de Bolomey, $R = \left(\frac{C}{A_g} - 0{,}50\right) k$, com que quási sempre se trabalha em cálculos analíticos.

Impõe-se, como aliás já previra, a aplicação da fórmula

$$R = \left(\frac{C}{A_g}\right)^{3/2} \cdot \frac{k}{2}$$

a qual, além de outras vantagens, reduz de 20 % para 10 % o êrro da provisão da resistência a atingir.

Gráfico 2 — Muitas vezes o ponto P' cai entre dois ramos da hipérbole e, a não tomar o mais próximo, obrigamo-nos a traçar uma curva por estimativa, o que é sempre condenável; tal dificuldade desapareceria se em vez de ramos de hipérbole pudéssemos trabalhar com rectas concordantes num ponto fixo.

Gráfico 4 — Pràticamente nos estaleiros o que interessa é o conhecimento do valor total A_g, sendo portanto útil uma modificação gráfica que dispense a determinação dos valores parcelares $\overline{RR}_c$ e $\overline{RR}_m$ (claro que em estudos de laboratório continua a haver interêsse no *gráfico 4* tal como foi concebido).

Gráfico 5 — Do mesmo modo, o que interessa é o conhecimento do volume total da mistura; as densidades do cimento e do material inerte são sensìvelmente constantes e, respectivamente, iguais a 3,1 (cimentos Liz, Tejo e Secil) e a 2,65 (godos das praias do Pôrto).

Era, contudo, possível a modificação dêste gráfico, mesmo sem considerar aqueles valores como constantes, mas parece-me lógico não querer complicar a questão: primeiro, porque trabalhamos com valores médios, impondo logo de início a possibilidade de um êrro de $\pm 10\%$ (parábola semi-cúbica de Bolomey) e o êrro cometido na avaliação das densidades por meios grosseiros poderia ser ainda maior do que o que se comete tomando-as como constantes; segundo, porque as irregularidades impossíveis de anular num estaleiro, por melhor organizado que se encontre, e que se referem à fabricação e à aplicação do betão, levam, decerto, a considerar escusado um tão exagerado rigor.

Em resumo: a matemática terá a palavra para corrigir sob o ponto de vista *utilização prática rápida* o que acabei de criticar com a mais indiferente severidade (e a crítica é insus-

[1] «Possibilidades e defeitos dos nossos betões. Um método imediato de dosagem». — Rev. da Fac. de Engenharia — Pôrto — n.º 3-Vol. VI.

peita porque me critico a mim próprio); o novo gráfico que proponho pode considerar-se de aplicação simplicíssima, com a vantagem de permitir maior exactidão, resolvendo vários problemas que surgem na prática e que a via analítica tornava, a maior parte das vezes, muito complicados.

Permito-me lembrar que êste método, como aliás todo e qualquer outro que se baseie gráfica ou analiticamente nas fórmulas do tipo

$$R = \varphi\,(C\,,\,A_g\,,\,V_a)\ (^1)\quad ,$$

admite como *condição inicial e primordial* um estudo granulométrico perfeito ($V_a \simeq 0$), quere dizer: aplica-se a betões estudados *por engenheiros em obras de engenharia.*

Gráfico I

Parte-se da equação de Bolomey

$$R = \left(\frac{C}{A_g}\right)^{3/2} \cdot \frac{k}{2}$$

que, escrita sob a forma

$$\frac{A_g}{C} = k_1 \cdot \frac{1}{R^{2/3}} \qquad k_1 = \left(\frac{k}{2}\right)^{2/3}, \qquad (1)$$

representa uma recta, passando pela origem, no plano $\left[\frac{A_g}{C}, \frac{1}{R^{2/3}}\right]$ e tendo $\left(\frac{k}{2}\right)^{2/3}$ por coeficiente angular.

Para maior facilidade de entrada com os valores de R desdobra-se êste gráfico em dois — fig. 1 — , em que a curva do da direita é o lugar geométrico dos pontos de cota $1/R^{2/3}$.

No gráfico final, como se verá, o eixo das ordenadas desaparece por desnecessário; note-se, ainda, que se consideram os valores de A_g/C em vez dos de C/A_g, o que é absolutamente indiferente [muitas fórmulas até, como as de Abrams e Graf, por exemplo, traduzem a relação $R = \psi\left(\frac{A_g}{C}\right)$]

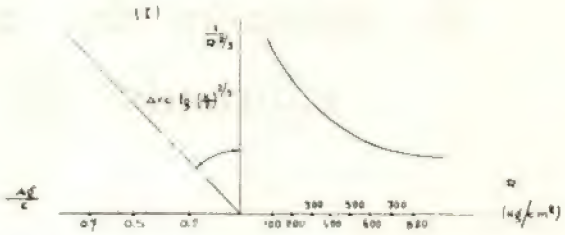


Fig. 1

Gráfico II

Como se sabe

$$\frac{C}{A_g} = \frac{C}{0{,}23 \,.\, C + A_m \,.\, M} \qquad x = \frac{A_g}{C}$$

$$M = 100 - C$$

$$C = \frac{100\ A_m}{x - 0{,}23 + A_m}$$

ou ainda

$$\frac{1}{C} = \frac{x - 0{,}23 + A_m}{100\ A_m} \qquad (2)$$

que é uma equação do tipo $y = ax - b$.

Ora a equação (2) representa um feixe de rectas concordantes num ponto fixo W. Com efeito: variando A_m varia a posição da recta no plano $\left[\frac{1}{C}, \frac{A_g}{C}\right]$; e o ponto de intercepção de duas dessas rectas

$$y = ax + b \quad \text{e} \quad y = cx + d\,,$$

cujas coordenadas representaremos por (x_1, y_1), será

$$\left\{\begin{array}{l} x_1 = \dfrac{d - b}{a - c} \\[2ex] y_1 = \dfrac{a\,d - b\,c}{a - c} \end{array}\right. \qquad (3)$$

Substituindo êsses valores de *a, b, c* e *d*, correspondentes a duas rectas caracterizadas pelos coeficientes A_m e A'_m, o sistema (3) torna-se

$$\left\{\begin{array}{l} x_1 = 0{,}23 \\ y_1 = 0{,}01 \end{array}\right. \quad \text{(fig. 2)}$$

(1) *Para recordar: C, M, A_g,* percentagens, em pêso, respectivamente de cimento, material inerte e água (tomadas, sempre, em relação a C + M); *0,23* e *A_m* são, respectivamente, os coeficientes que permitem determinar as quantidades de água para o cimento e material inerte: A_m será, portanto um valor essencialmente variável; V_c, V_m e V_a são, respectivamente, os volumes absolutos do cimento, do material inerte e dos vazios.

Quere dizer que as coordenadas cartesianas do ponto de intercepção das duas rectas são independentes de A_m: referem-se, portanto, a um ponto fixo no plano $\left[\frac{1}{C}, \frac{A_g}{C}\right]$.

É interessante notar que a abcissa dêste ponto é, precisamente, o valor do coeficiente por que se tem de multiplicar o valor de C para determinar a quantidade de água necessária às reacções da prêsa.

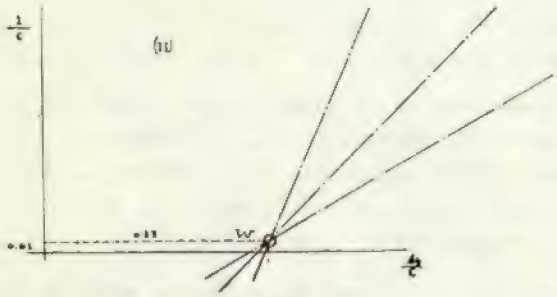


Fig. 2

O ponto W desloca-se, assim, sôbre uma recta paralela ao eixo dos $\frac{A_g}{C}$, conforme aquele coeficiente varia: vulgarmente toma-se a abcissa 23 % mas se a prática mostrar, amanhã, que êste valor é alto ou baixo, ou se se quiser aplicar cais hidráulicas ou cimentos de qualidade especial (aluminosos, altos fornos, etc.) bastará tomar como abcissa o valor correspondente aos coeficientes característicos. No gráfico final aparece um segundo ponto W' que representa o ponto W a uma escala dez vezes menor para as abcissas: ver-se-á, nos exemplos, qual a vantagem desta segunda marcação.

Gráfico III

A dosagem de cimento por m³ de betão, e em kg/m³, obtém-se por

$$\frac{C}{V_c + V_m + A_g}$$

O inverso desta expressão, que designarei por y, será

$$y = \frac{V_c + V_m + A_g}{C} = \frac{V_c + V_m}{C} + \frac{A_g}{C}$$

O valor de $\frac{A_g}{C}$ é já conhecido; veja-se o de $\frac{V_c + V_m}{C}$

$$V_c + V_m = \frac{C}{3{,}1} + \frac{100 - C}{2{,}65},$$

ou seja

$$\frac{V_c + V_m}{C} = 37{,}7 \times \frac{1}{C} - 0{,}0548 \qquad (4)$$

que é uma equação do tipo $y = ax - b$. (fig. 3)

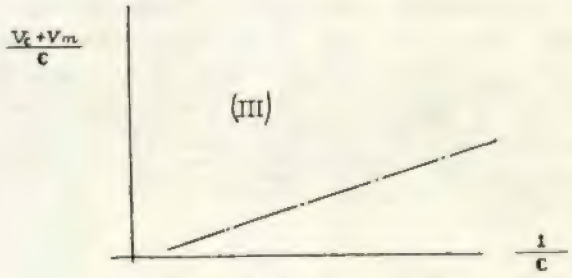


Fig. 3

Disponham-se agora os gráficos I, II e III como indica a fig. 4; prepare-se um betão, no estaleiro, nas devidas condições de emprêgo, com uma dosagem qualquer de cimento mas no grau de plasticidade que a obra requere: o *betão prova*, chamemos-lhe assim, ficou de-

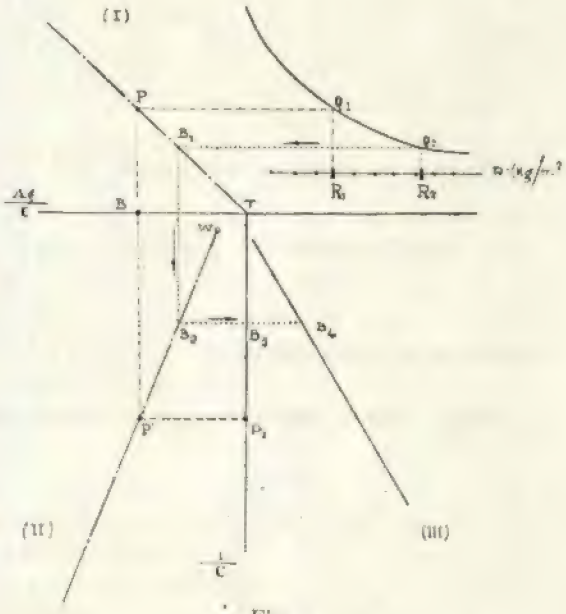


Fig. 4

finido imediatamente por $\frac{A_g}{C}$ e $\frac{1}{C}$ que permitem marcar no gráfico geral os pontos B e P_1.

Quer com o auxílio do laboratório, quer por processos expeditos de estaleiro, definimos, para o betão prova, a sua carga de ruptura, e temos o ponto R_1. É evidente o modo como se determinam, agora, os pontos P e P', que são pontos das rectas em que transformei, respectivamente, a parábola de Bolomey e a hipérbole do primeiro gráfico. Ora estas rectas têm pontos fixos de passagem e são, respectivamente, os pontos T e W: o seu traçado é imediato e o gráfico está pronto a trabalhar.

Suponhamos, então, que pretendiamos agora um betão com uma carga de ruptura de R_2: no gráfico (I) e por R_2 tira-se $\overline{R_2 Q_2}$ paralelamente a $\overline{R_1 Q_1}$; por Q_2 tira-se $\overline{Q_2 B_1}$ paralelamente a $\overline{Q_1 P}$; por B_1 tira-se $\overline{B_1 B_2}$ paralelamente a $\overline{PP'}$; por B_2 tira-se $\overline{B_2 B_4}$ paralelamente a $\overline{P' P_1}$.

Dosagem de cimento (kg/m³)

$\overline{B_2 B_3}$, a uma certa escala, representa o valor $\frac{A_g}{C}$

$\overline{B_3 B_4}$, de igual modo, representa o valor $\frac{V_c + V_m}{C}$

Portanto

$$\overline{B_2 B_4} = \frac{V_c + V_m + A_g}{C}$$

e a dosagem de cimento, em kg/m³, será

$$C \text{ (kg/m}^3) = \frac{1000}{\overline{B_2 B_4}}$$

Dosagem de água (litros/m³)

É dada, como sabemos, pela expressão

$$\frac{A_g}{V_c + V_m + A_g}$$

Ora

$$\frac{A_g}{V_c + V_m + A_g} = \frac{\frac{A_g}{C}}{\frac{V_c + V_m + A_g}{C}} = \frac{1000}{\overline{B_2 B_4}} \times$$

$$\times \overline{B_2 B_3} \text{ (litros/m}^3)$$

Dosagem do material inerte (kg/m³)

É determinada, como sabemos, pela expressão $\frac{M}{V_c + V_m + A_g}$

Ora

$$\frac{M}{V_c + V_m + A_g} = \frac{100 - C}{V_c + V_m + A_g} =$$

$$= \frac{100 \frac{C}{V_c + V_m + A_g}}{C} - \frac{C}{V_c + V_m + A_g} =$$

$$= [100 \, \overline{T B_3} - 1] \frac{1000}{\overline{B_2 B_4}}$$

Como se vê no gráfico junto, tudo está preparado de modo a permitir a leitura dos diversos valores utilizando directamente a escala centimétrica existente na régua de cálculo; por outro lado existe uma segunda marcação, no eixo dos $\frac{1}{C}$, correspondendo aos seus valores efectivos multiplicados por 100 e como esta marcação se encontra deslocada de uma unidade lê-se imediatamente, o valor $[100 \, \overline{T B_3} - 1]$.

Dêste modo, e utilizando a escala dos inversos da régua de cálculo, *determinamos as dosagens de cimento, do material inerte e da água, com duas deslocações* (no máximo) *da régua móvel:* disse no máximo visto que a maior parte das vezes *uma só deslocação* é suficiente.

* * *

Vejamos, agora, como se podem resolver alguns casos da prática; a utilização do gráfico é tão evidente que não cabe entrar em mais minúcias explicativas.

1.º) *Organização do gráfico para o estaleiro em questão* (fig. 5).

Vamos fazer um *betão prova* com C = 10 %; a mistura (C + M) será de 80 kg, por exemplo

$\frac{x_c}{80} = 0{,}10$ $\quad x_c = 8$ kg de cimento

$\quad x_m = 72$ kg de material inerte.

Obtivemos a plasticidade requerida com 4,8 litros de água:

$$A_g = \frac{4{,}8}{80} = 0{,}06$$

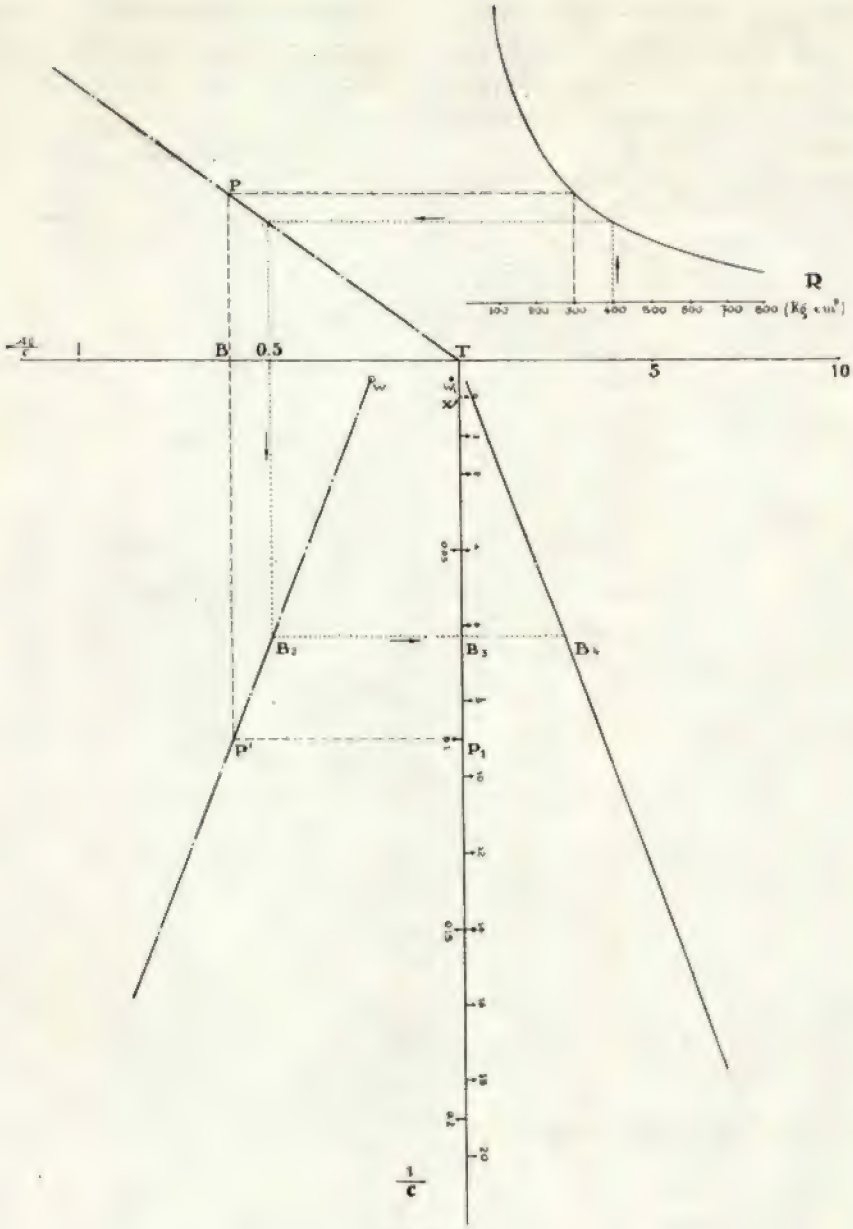


Fig. 5

A carga de rutura, aos *n* dias, do betão assim preparado foi de 300 kg/cm².

$$\begin{cases} C = 10\,\% \\ A_g = 6\,\% \\ R_n = 300 \text{ kg/cm}^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dfrac{1}{C} = 0{,}1 \text{ (ponto } P_1) \\ \dfrac{A_g}{C} = 0{,}6 \text{ (ponto P)} \end{cases}$$

Une-se P com T e W com P'; está organizado o gráfico.

2.º) *Em determinado ponto da obra exige-se um betão com 400 kg/cm²*

Cimento: $\dfrac{1000}{\overline{B_2B_4}} = 312 \text{ kg/m}^3$ (¹)

Água: $\dfrac{1000}{\overline{B_2B_4}} \times \overline{B_2B_3} = 154{,}5 \text{ l/m}^3$

Material inerte: $\dfrac{1000}{\overline{B_2B_4}} \times \overline{XB_3} = 1950 \text{ kg/m}^3$

(¹) Não esquecer que $\overline{B_2B_3}$ está a uma escala 10 vezes maior do que $\overline{B_3B_4}$; diríamos melhor $\dfrac{1000}{\overline{B_2B_3} + \overline{B_3B_4}}$.

3.º) *Em determinado ponto da obra pretendemos aplicar uma dosagem mais fraca,* 250 kg/m³ *de cimento, por exemplo* (é uma das propostas freqüentes dos empreiteiros à fiscalização) (fig. 6).

Por W_1 tira-sa a recta $\overline{W_1 P'_1}$ $\left(\overline{P'_1 P_1} = \frac{P' P_1}{10}\right)$.

Temos o ponto B_2 e, portanto, $R_2 = 320$ kg/cm². Se esta carga de rutura satisfaz, resta indicar as dosagens de

água —— $250 \times \overline{B_2 B_3} = 141$ l/m³

mat. inerte — $250 \times \overline{X B_3} = 2040$ kg/m³

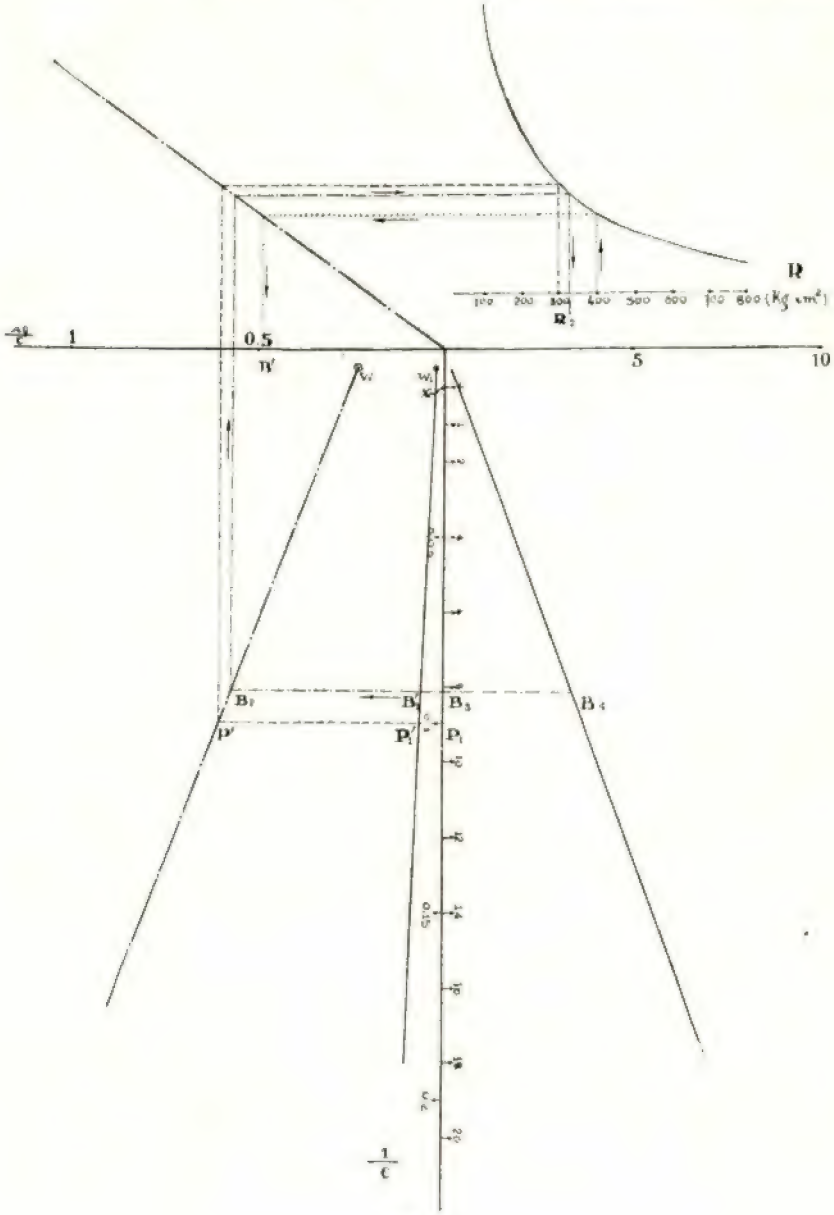


Fig. 6

Marca-se $\overline{B'_2 B_4} = \frac{1000}{250}$ (esta deslocação justificou-se pelo facto das abcissas dos gráficos II e III estarem a escalas diferentes e tornar-se necessário igualá-los para a marcação de $\frac{1000}{250}$).

4.º) *Parta-se do principio que R = 320* kg/cm² *é insuficiente e que se justificava uma R = 400 kg/cm²*

O problema é possível:

Partindo de 400 kg/cm² determina-se o ponto B' que corresponde ao valor

$$\frac{A_g}{C} = 0{,}49$$

Dosagem de água que permite, com 250 kg/m³ de cimento, obter a carga de rutura de 400 kg/cm²:

$$A_g = 0{,}49 \times 250 = 122{,}5 \text{ l/m}^3$$

5.º) *Em determinada zona da obra necessita-se maior plasticidade; como corrigir a conseqüente diminuïção de resistência?* (fig. 7)

Como se viu no segundo caso (fig. 5), necessitava-se 312 kg/m³ e 154,5 l/m³, respectivamente de cimento e de água, para se obter um betão de 400 kg/cm².

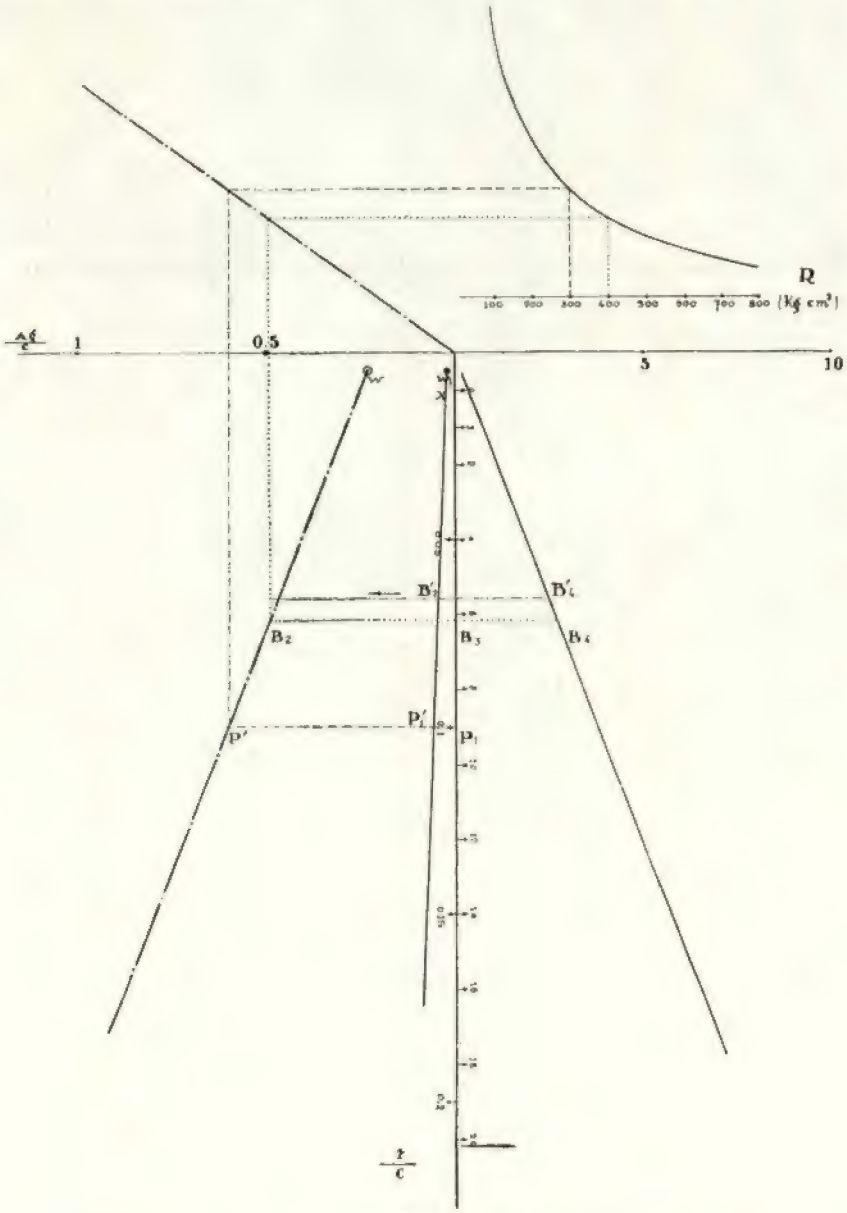


Fig. 7

Se a natureza da zona da obra em questão permitir esta diminuïção de plasticidade ou se se adoptar um modo de aplicação do betão que a justifique e a não existirem razões especiais, nada haverá a opor.

Suponhamos, agora, que se necessita deitar

$$Ag = 170 \text{ l/m}^3$$

Para $R = 400$ kg/cm² $\longrightarrow \frac{Ag}{C} = 0{,}495$

Quantidade, a mais, de cimento necessária para manter os 400 kg/cm²

$$\Delta C = \frac{170 - 154{,}5}{0{,}495} \cong 31 \text{ kg/m}^3$$

Água ——→ 170 litros
Mat. inerte → 1920 kg/m³

6.º) *Escolha do processo de aplicação do betão*

Num estaleiro importante dispõe-se, freqüentemente, de aparelhagem vária e pode aplicar-se o betão desde o apiloamento manual até aos modernissimos processos vibratórios; outras vezes, ao começar uma obra importante, hesita-se na escolha do modo de aplicação: em qualquer caso é necessário *estudar* a escolha, e o factor *economia* aparece, como sempre, a impor razões.

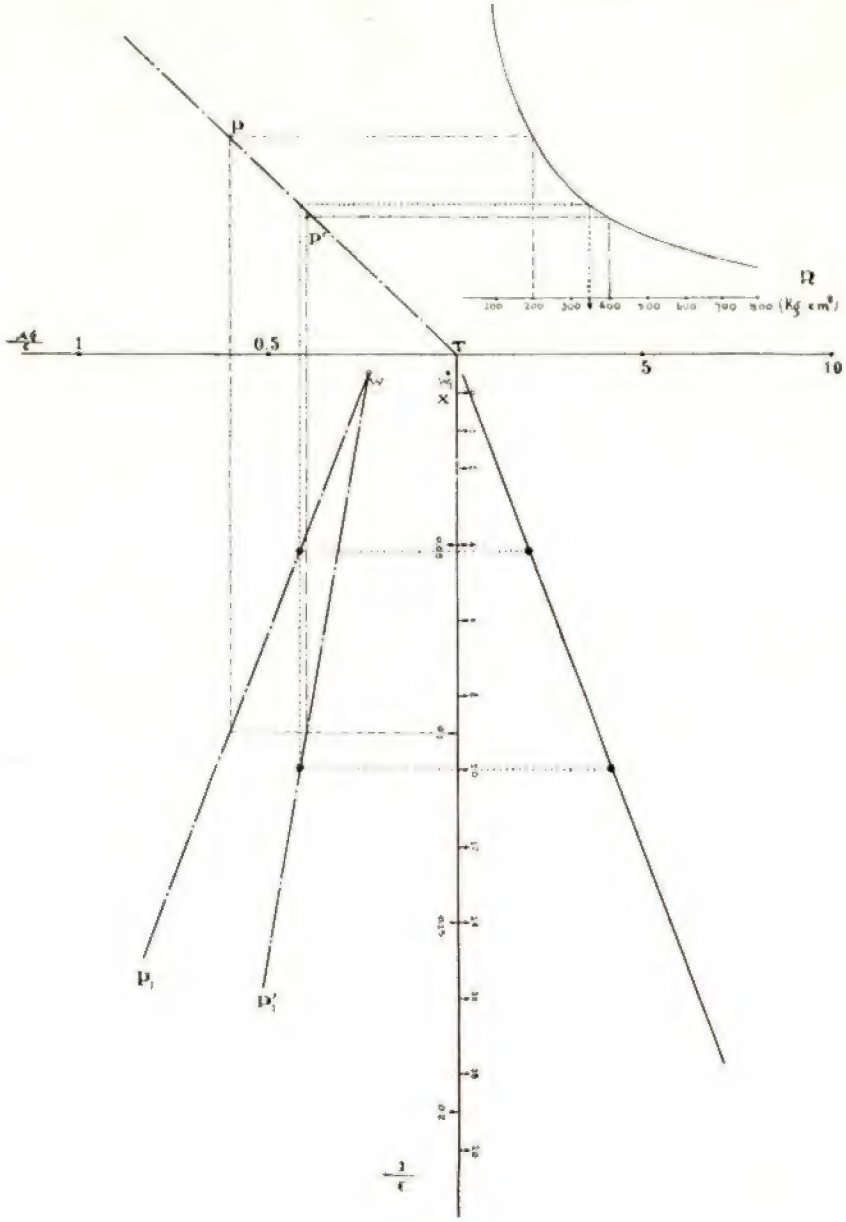


Fig. 8

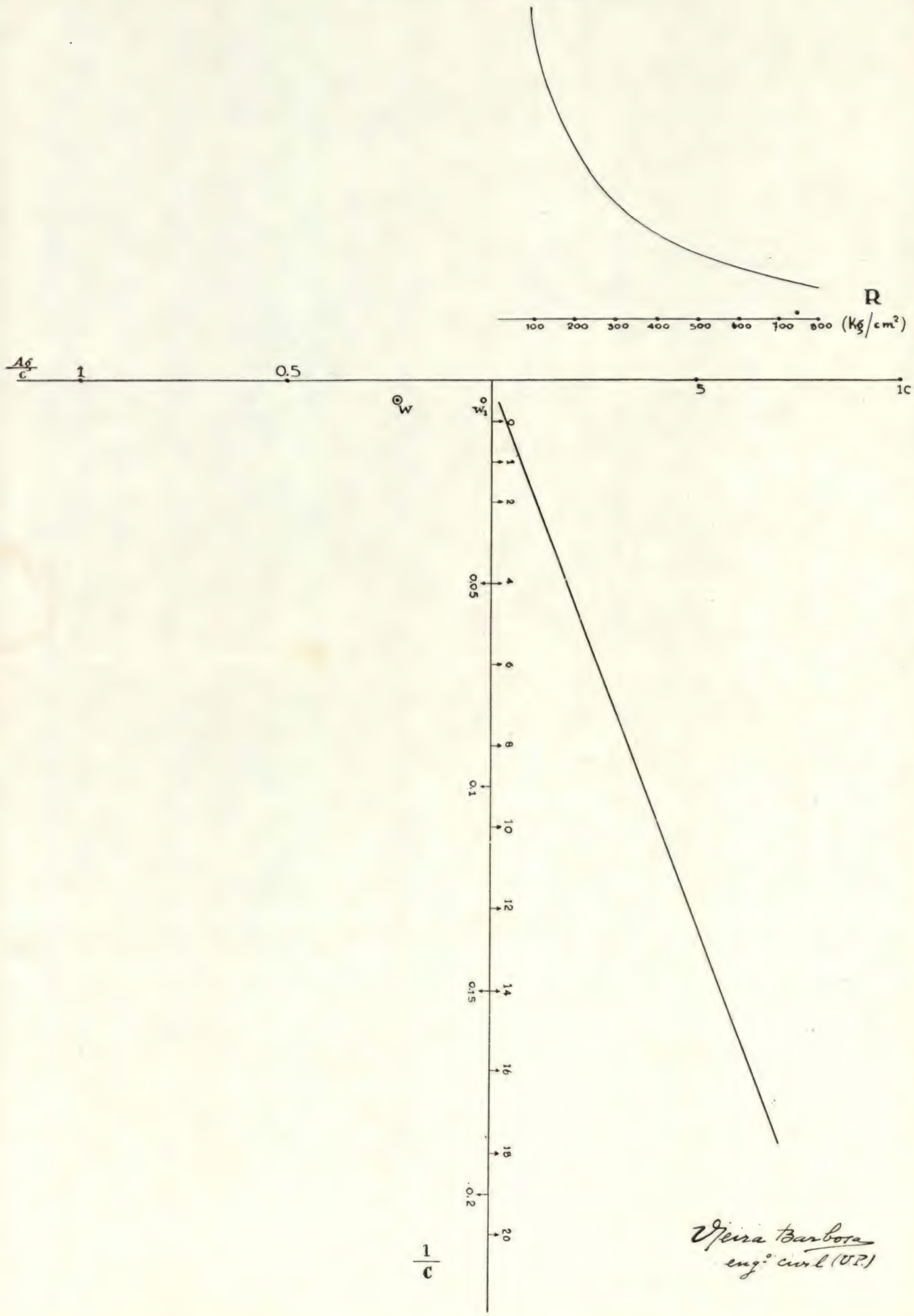
Traçamos a recta $\overline{w_1 P'_1}$ e inscrevemos o segmento $\overline{B'_2 B'_4}$

$$\overline{B'_2 B'_4} = \frac{1000}{312 + 31} \text{ (ver 3.º caso)}$$

Dosagens:

Cimento ——→ 343 kg/m³ $\left[\frac{170}{0{,}495} = 343 \text{ kg/m}^3\right]$

Gráfico para dosagem de betão



Vieira Barbosa
engº civil (U.P.)

No preço dum betão

$$P = k_c p_c + k_a p_a + k_g p_g + M$$

p_c, p_a, p_g → preços unitários do cimento, areia, godo ou brita

k_c, k_a, k_g → quantidades respectivas

M é um factor que depende da aplicação dum metro cúbico de betão e que deve, portanto, diminuir enquanto a plastidade aumenta.

Visto que o preço mínimo corresponderá à relação mínima $\frac{P\ (\$)}{R\ (kg/cm^2)}$, teremos de estudar

$$\frac{dP}{dR} = 0$$

$$\frac{dP}{dR} = \frac{d\,k_c p_c}{dR} + \frac{d\,k_a p_a}{dR} + \frac{d\,k_g p_g}{dR} + \frac{dM}{dR} = 0 \quad (^1)$$

O preço unitário do betão, por tonelada, para a fabricação na betoneira e transporte, nas obras correntes, é independente do tipo de aplicação adoptado.

O M será uma variável difícil de estabelecer visto que se, na aplicação não vibrada, o preço depende quási ùnicamente do preço da mão de obra, no betão vibrado êste factor intervém de igual modo, acrescido dos preços de manipulação dos aparelhos vibradores, da energia necessária para a vibração, amortização, etc. (Makcheeff—Travaux—n.º 73—1939).

Estabelecidas as premissas, temos de passar à comparação: o betão vibrado gasta menos cimento e mais material inerte, e para saber até que ponto se torna económica a sua aplicação precisamos de saber quais as dosagens respectivas.

Suponhamos que em certa obra se faziam dois *betões prova:* um com a plasticidade requerida para um apiloamento manual (fig. 8) — recta $\overline{W_1P}$, e outro com a plasticidade necessária a uma aplicação vibrada — recta WP'_1. Em ambos foi $C = 10\ \%$.

Os pontos P e P' deviam estar sôbre uma recta, segundo a expressão de Bolomey, mas tal não acontece, geralmente, devido a erros inevitáveis de preparação, de medição, etc. Assim tomar-se-á uma recta, passando por T, que se não afaste demasiado dêstes pontos.

A obra requere um betão de 350 kg/cm².

$C = 425\ kg/m^3$	$C = 220\ kg/m^3$
$Ag = 177\ l/m^3$	$Ag = 91{,}5\ l/m^3$
$M = 1770\ kg/m^3$	$M = 2190\ kg/m^3$

Quere dizer: por m³, com o betão vibrado, economizam-se 205 kg de cimento e gastam-se mais 420 kg de material inerte.

Em face dos outros factores de despesa e do volume da obra, êste conhecimento permite-nos escolher a aplicação mais vantajosa.

---

(1) Makcheeff — Manuel du Béton Vibré — 1939.

ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SÔBRE AS PONTES DE ARCOS E ABÓBADAS

A lei de variação dos momentos de inércia dos arcos abatidos encastrados e a acção das fôrças horizontais nos arcos em geral

POR EDGAR CARDOSO
ENGENHEIRO CIVIL (U. P.)

1 — Generalidades

Êste artigo destina-se, muito simplesmente, aos estudantes e novos engenheiros, que não tiveram ainda a sorte de encontrar, nos seus livros de estudo, uma solução satisfatória para determinados problemas de pontes, que lhes foram dados a resolver.

Assim, parece que o nosso trabalho terminaria, se indicássemos os livros ou revistas que têm tratado do assunto que nos propomos ter em causa. Desejamos ir um pouco mais longe, dispensando-vos do trabalho que tivemos, embora quási mecânico, mas cujas conclusões são de capital importância, e que não são em geral ditas, de forma positiva, nos tratados da especialidade.

O tipo ainda hoje mais freqüente de ponte é aquêle que tem para elemento de principal resistência o arco ou abóbada. É dos poucos que permite vencer grandes vãos sem o emprêgo do ferro ou com percentagens mínimas dêsse metal.

Os arcos e abóbadas são os sistemas que maior aplicação devem ter no nosso País, por serem os únicos que actualmente se podem construir com material e mão de obra nacionais. Não quere dizer que deixemos de dar a devida atenção a tipos especiais de pontes de betão armado com percentagens reduzidas de ferro e que formam estruturas altamente económicas, mas que na maioria podem ainda ser considerados arcos, no sentido genérico da palavra.

O verdadeiro engenheiro, quer seja funcionário do Estado ou não, tem por dever e obrigação, procurar e exigir a solução mais económica, dentro das melhores condições de segurança, presente e futura. Em segundo lugar, e em íntima colaboração com o arquitecto deverá dar à obra beleza arquitectónica, para que, aos olhos do mundo, apareça um conjunto sólido, harmonioso e agradável. Dêste modo, não nos devemos preocupar com a forma geométrica ou mássica, mas apenas com a forma elástica e resistente, embora choque ao nosso espírito, essa forma, por a ela não estarmos habituados.

Procurar, portanto, a obra mais económica, com a melhor garantia de duração, resistência e segurança, para as solicitações que mais se aproximem da verdadeira realidade, com uma lógica previsão, é o primeiro dever do engenheiro, sem o que é impossível o progresso.

E assim, se chegamos à conclusão que um arco de pedra sai mais barato e tem maior segurança, com o fecho mais espêsso que as nascenças ou encastramentos, porque razão o devemos projectar segundo o conceito clássico?

É precisamente dêste exemplo que vamos tratar. Em seguida indicaremos algumas das solicitações horizontais que actuam nos

arcos ou abóbadas de tímpanos cheios e que, em geral, não são consideradas. Veremos, finalmente, como os seus efeitos são extremamente importantes e como só em raríssimos casos é que podem ser desprezáveis.

2 — A variação dos momentos de inércia ao longo do eixo longitudinal dos arcos abatidos

Um arco abatido, do tipo encastrado, e com uma variação de espessuras das secções, empregada desde os mais antigos tempos, possue sempre grandes momentos flectores nas secções de encastramento; os esforços devidos às variações de temperatura e contracção durante o endurecimento (no caso do arco ser de betão), são importantíssimos, muito superiores, em certos casos, aos das sobrecargas, para que, afinal, são executados.

Independentemente da grandeza dos esforços destas severas solicitações, que nas eras passadas não se consideravam no cálculo, os arcos foram tomados como simples funiculares comprimidos, e, como tais, possuindo tensões forçosamente mais elevadas junto das nascenças. Conseqüentemente, o projectista dava maiores espessuras às aduelas dos arcos à medida que se aproximavam dos encastramentos.

Para a carga permanente e sobrecarga, em geral tomada como aumento de altura ou de densidade dos tímpanos, era essa lei de variação de espessuras a indicada como a mais racional. Uma vez que se demonstre pelo cálculo analítico, pelos ensaios experimentais de laboratório, e mais exactamente, pelas *próprias obras executadas,* que são de facto mais importantes as acções de temperatura, da contracção do betão e das sobrecargas, não nos devemos preocupar com a forma do arco para os efeitos da carga permanente. Interessa, exclusivamente, o estudo de conjunto que der o arco mais económico com a maior segurança real.

A fibra média dum arco costuma ser escolhida de modo a coincidir com a linha das pressões da carga permanente, ou da carga permanente e meia sobrecarga (em tôda a ponte), ou da carga permanente e contracção (nos arcos de betão), etc., para que os momentos flectores absolutos venham o menor possível.

Êsse estudo tem na realidade importância nos grandes arcos elevados, nos quais se pode, a maioria das vezes, por ajustamentos sucessivos, conseguir que o invólucro das linhas das pressões para os vários efeitos das solicitações esteja sempre dentro dos núcleos centrais das diversas aduelas.

Mas enquanto se dá primeira importância à forma da fibra média, para a qual é «regra» fazer-se meia duzia de tentativas, admite-se, quási como um postulado, uma ou outra fórmula de variação de espessuras ao longo do eixo longitudinal. É ainda muitas vezes a simplicidade de cálculo que as origina, tal como a que resulta da hipótese $I \cos \alpha = I_0 =$ Const. Se nos arcos elevados não temos a necessidade duma rigorosa determinação das espessuras, não podemos dizer o mesmo dos arcos abatidos, especialmente dos de pequenos vãos.

E ainda, se nos sistemas isostáticos os esforços dependem sòmente da forma geométrica, nos hiperstáticos dependem não só desta, mas principalmente da sua elasticidade, concretizando, da variação dos momentos da inércia e polar, das áreas das diversas secções ao longo do eixo longitudinal e dos módulos de elasticidade dos materiais.

Assim, por exemplo, consegue-se teòricamente triplicar ou reduzir a zero os momentos flectores a meio do vão duma viga encastrada, pela variação conveniente dos momentos de inércia ao longo do eixo longitudinal. Dentro de certos limites é o que quisermos que seja, o que de modo algum pode acontecer nos sistemas isostáticos.

Como êste, outros exemplos poderiam ser apresentados para provar como a variação do momento de inércia das secções influe de maneira primordial na grandeza das incógnitas hiperstáticas. ([1])

Nos arcos abatidos, não é demais repetilo, para os quais os efeitos das variações

([1]) No número 102 da «Técnica» mostrámos já a influência dos momentos de inércia no cálculo dos esforços das vigas hiperstáticas.

de temperatura e contracção do betão, e os das sobrecargas, são comparáveis aos efeitos da carga permanente, é absolutamente necessário estudar a variação das espessuras das aduelas com bastante mais rigor que a curva da fibra média. É que a fibra média dum arco abatido não pode, por natureza, variar de maneira apreciável, por mais curvas que se escolham, tôdas se devem aproximar umas das outras.

Temos, portanto, uma só forma de actuar: modificar a elasticidade do arco à custa da variação conveniente das espessuras das aduelas.

Se damos ao arco uma espessura nas nascenças bastante maior que no fecho, o arco funcionará de certo modo como duas consolas ligadas pelo fecho e, portanto, com grandes momentos flectores nos encastramentos. Pelo contrário, se reduzirmos as secções das nascenças teòricamente a um ponto, ou melhor a uma linha, os momentos serão nulos ao longo dessa linha. Caímos neste caso nos arcos de duas articulações, tão raramente usados entre nós, talvez pelo receio do seu mau funcionamento, principalmente das articulações, o que nos parece não é de temer. ([1])

Se não queremos ou não podemos empregar êste segundo tipo de arco, pelas razões apontadas, ou por outras razões, ainda, que as condenem, somos obrigados, se formos criteriosos, a dar ao arco uma variação tal de espessuras de aduelas de modo qne o momento de inércia nas nascenças seja bastante menor que no fecho. Encontrámos assim uma solução intermédia entre o clássico arco encastrado e o arco de duas articulações, sem dúvida vantajoso em muitos casos correntes.

E dizíamos há pouco, se formos criteriosos porque pomos as nossas dúvidas que exista (pelo menos entre nós) um arco de alvenaria bem calculado, isto é, que funcione na realidade tal como se supôs no cálculo, o que não quere dizer que as pontes que os possuem não tenham condições de segurança. Simplesmente, as alvenarias não têm um trabalho nulo à tracção nem 20 a 40 kg/cm² à compressão como se admite nos cálculos de estabilidade, mas antes só a 10 a 40 à tracção e a 200 a 1000 kg/cm² à compressão é que se produz a rotura.

A rotura por tracção é fàcilmente atingida; a segunda, só excepcionalmente, pois basta menos de meia dúzia de centímetros de contacto, em secção transversal, para só por si resistirem a todo o impulso do arco.

E asssim um arco encastrado, traçado segundo o antigo conceito, com maior espessura nas nascenças, transforma-se, *felizmente,* num arco imperfeitamente articulado com secções transversais úteis, muito diferentes das espessuras das primitivas aduelas. Tudo o mais é *material perdido.* Mas, desde as mais remotas eras se construíram arcos debaixo dum princípio «errado» de variações de espessuras, e que resistiram a todos os tempos! Sem dúvida, a solução era boa porque se conheciam mal as solicitações do arco e a sua deformação e entregava-se a êle o cuidado de procurar, dentro dessa grande massa, a forma de melhor equilíbrio natural. Hoje, a solução é má porque êsse material é inútil e nocivo quer sob o ponto de vista da estabilidade, quer sob o custo da obra, a não ser que ainda queiramos continuar no mesmo empirismo de cálculo e de solicitação, o que não é uma solução de Engenharia.

Os métodos de cálculo das grandezas hiperstáticas e as hipóteses admitidas até há poucos anos estavam tão longe da realidade, que raro é o arco ou abóbada de alvenaria que não apresente fendas visíveis. E aqueles que não as mostram, quer por terem sido refechadas nos acabamentos da construção, quer pela sua posição e dimensões o não permitirem vê-las, resta ainda saber se as não têm.

E, se aparecem, culpa-se, em geral, o tempo, o frio, o aumento de sobrecargas, o não trabalho elástico perfeito do material e outras *causas desconhecidas,* quanto é certo

([1]) Uma articulação artificial, pela sua localização bem estudada e pelos cuidados de execução e perfeição das superfícies de contacto, parece-nos sem dúvida preferível a uma *articulação natural,* excêntrica, com certeza, e obtida sempre por rotura das alvenarias, a que tantos arcos de pedra foram e são condenados.

que a aplicação das equações de deformação a um dêsses arcos, considerado como sólido elástico perfeito, para as solicitações que é razoável admitir, dá-nos a certeza antecipada de tão claras fendas.

Queremos agora justificar o que dissemos atrás: não devemos temer as articulações, porque se não as realizamos nós, realiza-as o próprio arco por não poder suportar, doutra maneira, as intensas solicitações a que é obrigado, mas em muito peores condições, para o bom trabalho das alvenarias.

Sôbre a famosa teoria de R. Vallet, publicada há doze anos em «Le Genie Civil», base das nossas conclusões, não nos alongaremos mais; é nosso desejo mostrar apenas a sua aplicação a uma abóbada de betão armado que projectámos com a secção do fecho menor que as das nascenças, segundo a forma clássica.

As figuras 1 e 2 mostram respectivamente o meio arco projectado e o que a seguir calculamos com espessura menor nas nascenças. Designá-los-emos por A e B.

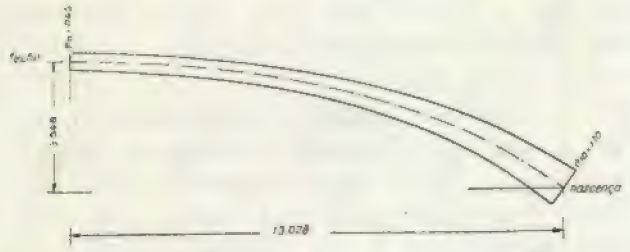


Fig. 1

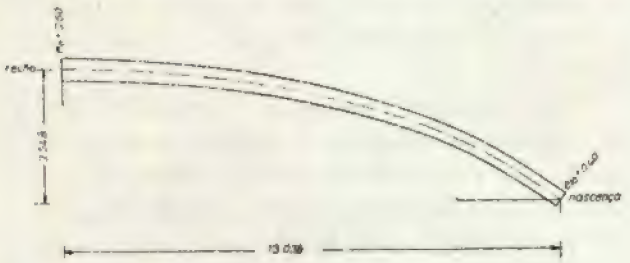


Fig. 2

A flexa e a corda foram impostas por razões que não interessam ao fim em vista e mantivemo-las iguais, nos dois casos, bem como as fibras médias, para melhor comparação.

Nas Fig. 3, 4 e 5 apresentamos as linhas de influência dos momentos flectores, esforços normais e esforços tangenciais da secção do

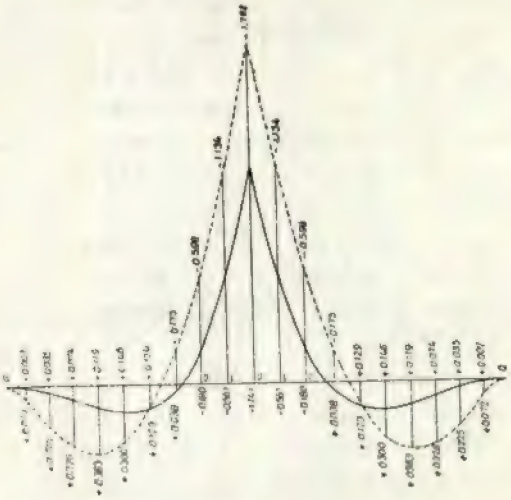


Fig. 3

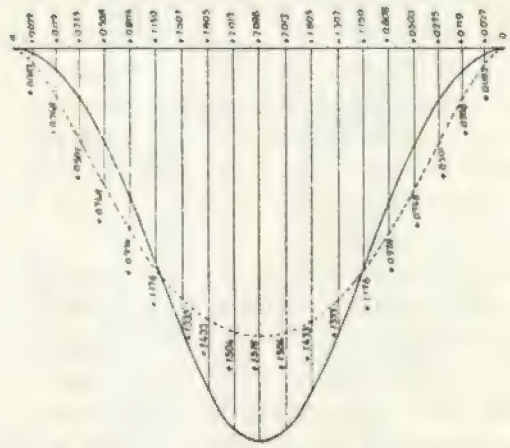


Fig. 4

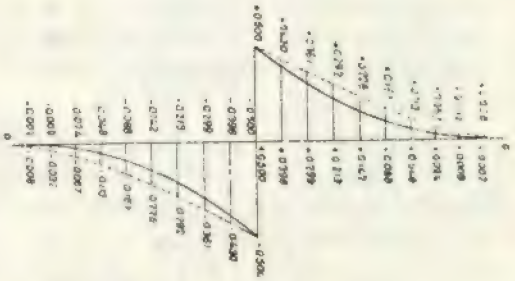


Fig. 5

fecho, para os dois arcos, sendo as linhas a traço cheio as do arco A e as tracejadas, do arco B.

As figuras 6, 7 e 8 dão-nos as linhas de influência dos mesmos esforços na secção

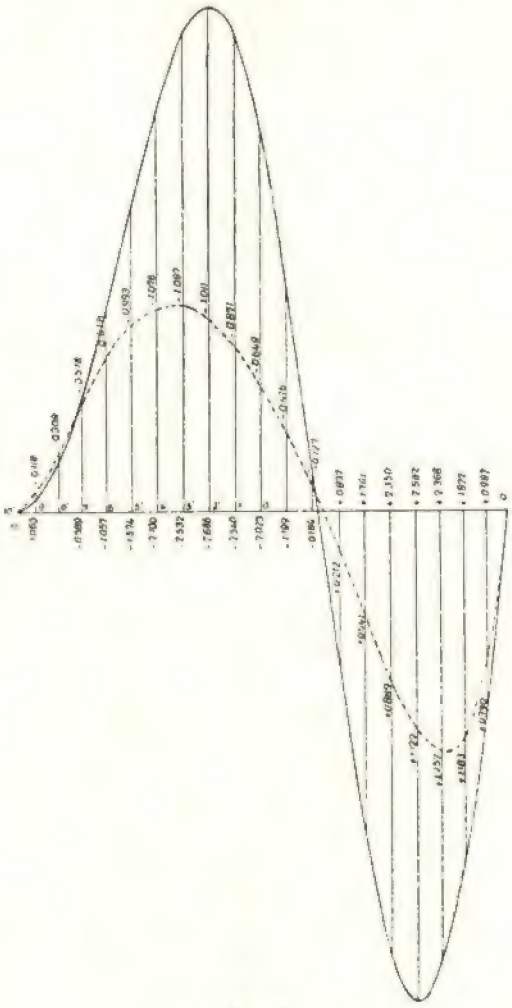


Fig. 6

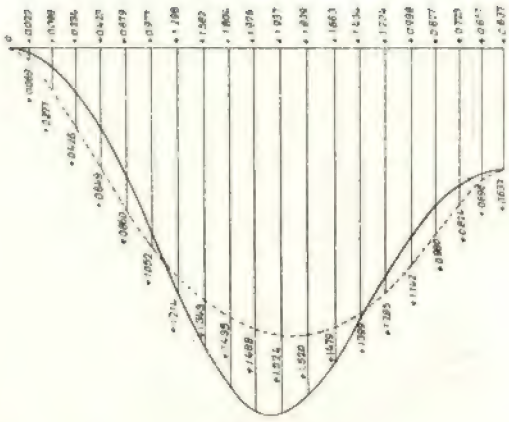


Fig. 7

da nascença da direita, segundo as mesmas convenções

Destas linhas se conclue serem os momentos flectores os que sofrem maior variação. E como é próximo das nascenças que os arcos abatidos têm maiores excentricidades, vê-se quanto melhor é o emprêgo do arco B em vez do arco A; as ordenadas da linha de influência dos momentos flectores na nascença do arco B são metade a um terço das correspondentes do arco A. É certo que no fecho, produziu-se fenómeno

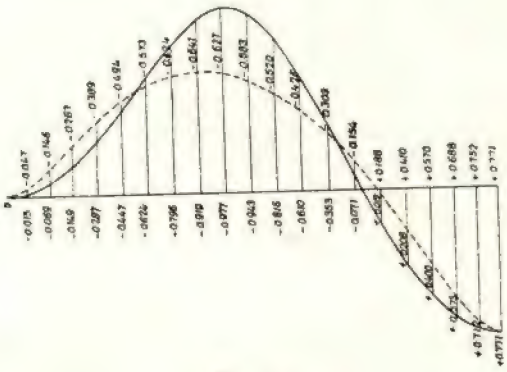


Fig. 8

inverso, como era de esperar, mas nem assim aumentam os esforços, antes pelo contrário, como veremos já.

Os esforços normais e tangenciais, para as cargas concentradas próximo do fecho, diminuem, para aumentarem quando se deslocam para junto das nascenças, em relação ao arco A; mas como os pesos das aduelas dos dois arcos variam em lei inversa, o resultado final mantém-se sensìvelmente o mesmo, para o caso do pêso próprio.

Mas, a maior vantagem é a redução que se obtem nos esforços devidos à contracção do betão e variações de temperatura, que são os mais importantes. Enquanto no arco A, para uma variação de temperatura de 15° C. se obtem um impulso no fecho de 14,4 ton., no arco B pouco passa de 2. E, como o centro elástico do arco B está mais baixo que o do primeiro, conclue-se que o momento flector nas nascenças é cêrca de 10 vezes menor! Como dissemos, a excentricidade no fecho não aumentou: passou a ser menos de metade, também.

QUADRO I

I crescente para as nascenças

Hipóteses de carga	Secção do fecho						Secção das nascenças					
	N máx.		M máx. +		M máx —		N máx.		M máx. +		M máx. —	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
Carga permanente	+ 334	+56.790	+ 334	+56.790	+ 334	+56.790	+21.601	+77.244	+21.601	+77.244	+21.601	+77.244
Contracção	—6.811	—14.369	—6.811	—14.369	— 6.811	—14.369	+44.170	—11.078	+44.170	—11.078	+44.170	—11.078
Abaix.to de temp.a	—	—	—	—	— 6.811	—14.369	—	—	+44.170	—11.078	—	—
Aumento de temp.a	+6.811	+14.369	+6.811	+14.369	—	—	—44.170	+11.078	—	—	—44.170	+11.078
Sobrecarga	+ 587	+20.125	+1.196	+ 8.342	— 6.293	+16.444	— 4.944	+21.776	+17.327	+ 7.813	—19.622	+14.625
Totais	+ 921	+76.915	+1.530	+ 65.132	—19.581	+44.496	+16.657	+99.020	+127.268	+62.901	+ 1.979	+91.869
Excentricidades	+ 0.012m		+ 0.023m		— 0.441m		+ 0.168m		+ 2.023m		+ 0.022m	

No quadro I indicamos os esforços máximos e excentricidades devidos às várias solicitações que actuam no arco A, referentes ao fecho e às nascenças.

No quadro II, admitindo-se as mesmas hipóteses de carga e sobrecarga, indicam-se os do arco B

E, o que mais curioso há a notar é que enquanto nas nascenças do arco A temos uma excentricidade da linha das pressões superior a 2 metros, no arco B não chega sequer a 28 centimetros.

Na Fig. 9 representam-se os invólucros dos momentos flectores máximos absolutos; a linha cheia indica os do arco A, em tôdas as secções do fecho às nascenças, e a linha a traço ponto os do arco B.

QUADRO II

I decrescente para as nascenças

Hipóteses de carga	Secção do fecho						Secção das nascenças					
	N máx.		M máx. +		M máx. —		N máx.		M máx +		M máx. —	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
Carga permanente	+2.080	+63.850	+2.080	+63.850	+ 2.080	+63.850	+ 5.270	+79.790	+ 5.270	+79.790	+ 5.270	+79.790
Contracção	—3.350	— 2.280	+3.350	— 2.280	— 3.350	— 2.280	+ 4.740	— 1.760	+ 4.740	— 1.760	+ 4.740	— 1.760
Abaix.to de temp.a	—	—	—	—	— 3.350	— 2.280	—	—	+ 4.740	— 1.760	—	—
Aumento de temp.a	+3.350	+ 2.280	+3.350	+ 2.280	—	—	— 4.740	+ 1.760	—	—	— 4.740	+ 1.760
Sobrecarga	- 4.520	+16.350	+2.230	+ 5.520	— 9.160	+13.830	+ 2.840	+19.090	+ 8.620	+ 7.370	— 8.060	+ 8.980
Totais	- 2.440	+80.200	+4.310	+69.370	—13.780	+73.120	+ 8.110	+98.880	+23.270	+83.640	— 2.790	+88.770
Excentricidades	— 0.03m		+ 0.062m		— 0.188m		+ 0.082m		+ 0.279m		— 0.031m	

No primeiro, a curva sobe ràpidamente a partir do quarto do arco, no segundo, mantém-se sensìvelmente constante em todo o seu desenvolvimento, com o valor máximo muitíssimo menor, como vimos já.

E para terminar, diremos que o arco A, tendo a melhor forma de fibra média e a

melhor variação de espessuras das aduelas (como concluímos por variadíssimos ensaios no respectivo projecto), mas traçado segundo o conceito clássico, consome 25 % mais de betão armado e cêrca de 30 % a mais de ferro do que o arco B, de momento de inércia decrescente para as nascenças.

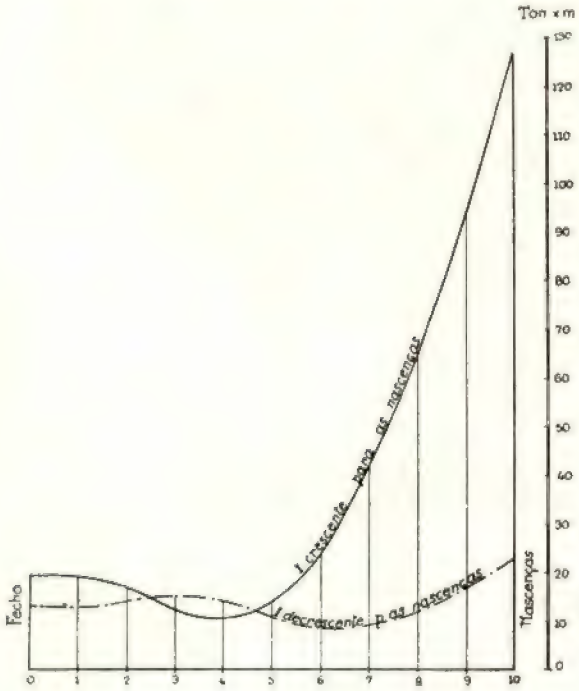


Fig. 9

É, ainda, justo salientar o aumento que sofre a altura útil abaixo do intradorso, próximo das nascenças, quando o arco é aplicado na eliminação duma passagem de nível, com tôdas as conseqüentes vantagens económicas, não só da ponte, mas também das estradas de acesso.

3 — As fôrças horizontais nos arcos — Espécies de solicitação.

Entre os arcos e abóbadas das pontes que servem as estradas e os caminhos de ferro, quer na transposição dos vales e rios, quer na supressão das passagens de nível, raros são os que não estão sujeitos à acção de fôrças horizontais.

Devemos considerar três espécies principais de solicitação horizontal:

a) — as que resultam do enchimento dos tímpanos nas abóbadas de tímpanos cheios;

b) — os efeitos de frenagem ou arranque dos veículos.

c) — a acção do vento.

A acção da fôrça centrífuga nas pontes curvas, do golpe de lacete das viaturas carriladas e a acção do vento, incidindo com direcção que não seja segundo o eixo da ponte, provocam esforços que não são os da flexão plana e que obrigam a estudar a estrutura no espaço, a três dimensões. Tal estudo não é assunto do presente artigo.

Os efeitos destas fôrças horizontais, indicadas nas alíneas *a*) *b*) e *c*), só em arcos e abóbadas muito abatidos é que são relativamente fracos comparados com os efeitos das fôrças verticais.

A frenagem e a acção do vento costumam ser considerados, mesmo por imposições regulamentares; a primeira, nas pontes de caminhos de ferro e a segunda, tanto nestas como nas pontes de estrada, de tipo ou importância especial.

É nossa intenção citar aqui, simplesmente, a acção das fôrças horizontais em primeiro lugar enunciadas: as que resultam do enchimento dos tímpanos (1).

Fazêmo-lo, por as considerar muito importantes e que de modo algum devem ser tomadas em menor conta, ou em silêncio, como é vulgar encontrar nos mais consultados tratados da especialidade.

O enchimento dos tímpanos — seus esforços e efeitos.

O enchimento dos tímpanos é em geral executado com terra batida ou pedra arrumada e em pontes mais cuidadas, com betão magro, mas só entre os arcos, quando a ponte tem mais de um vão.

Qualquer dêstes materiais, só em casos

(1) E, ainda, com uma reserva: deixámos para novo estudo a distribuïção, pela abóbada, duma carga vertical actuando na faixa de rolagem, através do enchimento. É pura fantasia supôr que essa carga se transmite, à abóbada, sem mudar de direcção, como indica o Reg.to de Betão Armado, ou sem originar importantes acções horizontais.

PONTE DE ODECEIXE

PONTES

PONTE DO SOL PÔSTO

PONTES

PONTE SÔBRE O TUA

•

DUAS FASES DA
SUA CONSTRUÇÃO

muito particulares é que não dá origem a fôrças horizontais.

Com efeito, um trôço de abóbada, A B C D, Fig 10, faz com o enchimento dos tímpanos, que em princípio supomos ser de

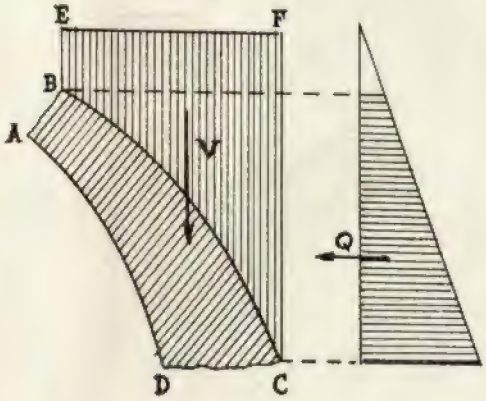


Fig. 10

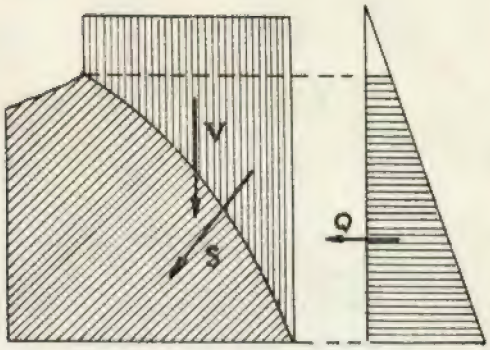


Fig. 11

terra, um verdadeiro muro de suporte, sujeito além da fôrça vertical V (em geral o pêso do prisma B E F C), a um impulso horizontal Q, da mesma forma como se tratasse duma parcela do muro de suporte esquematizado na Fig. 11. É de facto impossível, pelo menos em condições de segurança, manter as terras em equilíbrio com a superfície F C vertical, sem a acção dum diagrama trapezoidal de pressões horizontais, cuja resultante supomos ser Q.

Todos sabemos que o impulso horizontal Q num muro de suporte aumenta com o tempo, sendo uma das causas a passagem dos veículos. No caso da abóbada, além dos veículos, produzindo o crescente aumento de Q, há a considerar os movimentos da abóbada, embora elásticos, ocasionados pelos efeitos das sobrecargas, que originam mais ràpidamente o arranjo do enchimento para maior impulso.

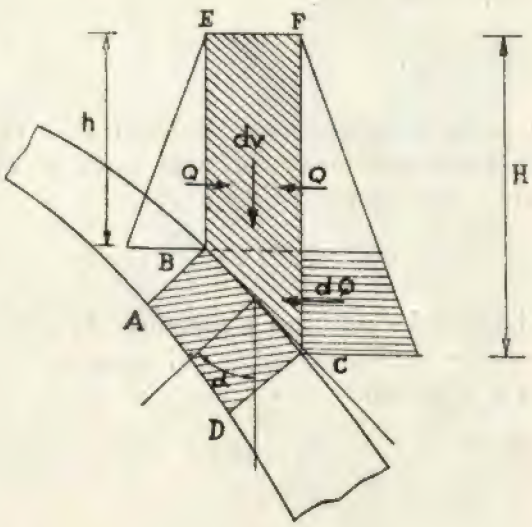


Fig. 12

Um elemento ds de abóbada (Fig. 12) será submetido a uma fôrça horizontal dQ, tal como num muro de suporte (segundo Resal):

$$dQ = \frac{\triangle A}{2} (H^2 - h^2) \qquad (1)$$

em que $\triangle$ é a densidade do enchimento, A um coeficiente dependente do ângulo de atrito das terras, e destas com a abóbada, da inclinação do elemento BC do extradorso, e de ângulo de E F com a horizontal.

A fórmula (1) pode escrever-se:

$$dQ = \frac{\triangle A}{2} (H + h)(H - h) \qquad (2)$$

e se ds é pequeno relativamente a H, podemos ainda escrever:

$$dQ = \triangle A H \operatorname{sen} \alpha \, ds \qquad (3)$$

ou finalmente:

$$Q = \triangle \int_{H_{min}}^{H_{máx.}} A H \operatorname{sen} \alpha \, ds \qquad (4)$$

em que a altura H pode já incluír, como é corrente, no cálculo dos muros, a altura de terras fictícia equivalente à sobrecarga vertical da faixa de rolagem.

Por outro lado:

$$dV = \triangle B H \cos \alpha \, ds$$

ou mais simplesmente, fazendo B = 1, o que corresponde ao próprio pêso do elemento de tímpano BEFC:

$$dV = \triangle H \cos \alpha \, ds \qquad (5)$$

Dividindo membro a membro (3) por (5) obtém-se a relação entre as fôrças horizontais e verticais:

$$K = \frac{dQ}{dV} = \frac{\triangle A H \operatorname{sen} \alpha \, ds}{\triangle H \cos \alpha \, ds} = A \operatorname{tg} \alpha$$

Se o ângulo de atrito das terras fôr $\varphi = 35,^{o}$ teremos para a porção da abóboda compreendida entre $\alpha = 25,^{o}$ e $\alpha = 75,^{o}$ respectivamente:

$$K_1 = 0,13 \quad e \quad K_2 = 1,00$$

isto é, na ponte da abóbada aonde o enchimento tem maior pêso, as fôrças horizontais geradas são 13 a 100 % das fôrças verticais solicitantes.

As secções que se encontram em peores condições de estabilidade, são as nascenças da abóbada. Se notarmos que num arco elevado, encastrado, as ordenadas da linha de influência dos momentos flectores das nascenças devidos às fôrças horizontais são muito superiores às ordenadas da linha da influência devida às fôrças verticais, somos levados a concluír que essas fôrças provocam momentos nos encastramentos de modo algum desprezáveis.

Suponhamos agora que o enchimento é executado com pedra arrumada. Mesmo neste caso, ainda que se execute com a maior das perfeições, êle dará origem a fôrças horizontais também importantes se a abóbada é elevada.

Assim: seja A B C D, Fig 13 um sólido pesado, apoiado com atrito numa superfície E A D F. O equilíbrio só é possível, sem a intervenção de fôrças estranhas, se o ângulo α que faz a normal N à superfície E A D F, no ponto do contacto O, com o

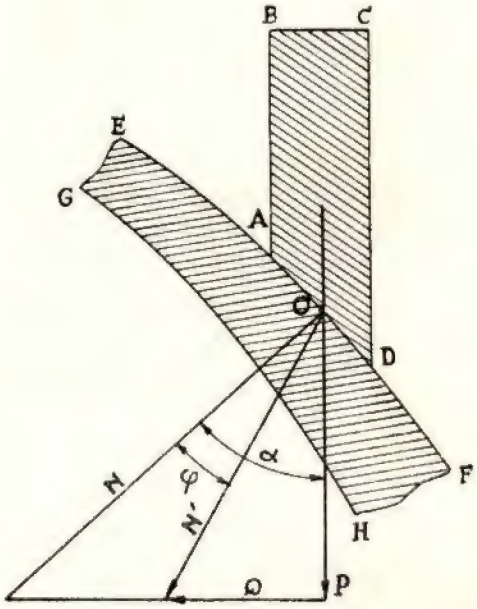


Fig. 13

sólido, é inferior ao ângulo de atrito φ das duas superfícies.

Se α é maior que φ, o sólido A B C D entrará em movimento, solicitado por uma fôrça horizontal Q.

Vejamos o seu valor:

As abóbadas são em regra protegidas da humidade por uma chapa impermeável hidráulica e hidrófuga, com uma superfície lisa e portanto com um coeficiente de atrito tg φ chapa hidrófuga — enchimento, quando muito igual a 0,5. Nestas condições, para um elemento de extradorso fazendo um ângulo α de 45°, a fôrça horizontal gerada é cêrca de 35 % do pêso de tímpano que lhe corresponde. E, para um ângulo α de 71°, a componente horizontal é já superior ao próprio pêso do enchimento, que a originou.

Fácil é concluír que, para valores de α superiores a 40° o enchimento com pedra arrumada dá origem a fôrças horizontais não menos importantes que o enchimento com terra. Assim, para $\alpha = 75^{o}$ vem

$Q = 1{,}15\ P$ em vez de 1,00, como obtivemos anteriormente.

Portanto, o facto do enchimento se executar com pedra arrumada, em vez de terra, nada favorece a obra, sob o ponto de vista da estabilidade. ([1]).

Finalmente, admitamos que o enchimento é efectuado com betão pobre; parece-nos ser o peor.

Com efeito:

Se o apiloamento é imperfeito o betão funcionará de cunha entre os dois arcos; se o apiloamento é bem executado, então o betão, plástico, exercerá, como um fluído, uma pressão normal às paredes que o contêm, no nosso caso, contra os arcos. Como se poderia admitir, na Física, ser esta pressão vertical?

Suponhamos ainda que, devido ao endurecimento desse betão êle contraía e deixava de produzir impulso, por se transformar num sólido; como e aonde ficaria apoiado êsse sólido, e como destribuíria êle aos arcos as cargas e sobrecargas que vai suportar? Como garantir que entre êsse betão magro e a abóbada se não forme uma película de água capaz de produzir impulso? Só por infantilidade se poderia admitir ùnicamente a distribuição vertical.

A análise comparativa das ordenadas das linhas de influência, particularmente dos momentos flectores, devidas às fôrças horizontais e verticais, mostra o grande valor das primeiras, e o grave êrro que se comete, quando deixam de ser consideradas.

Exemplo prático

Calculou-se uma abóbada de tímpanos cheios do tipo encastrado nas nascenças e de betão armado. O arco é abatido de $\frac{1}{3{,}89}$, a fibra média é circular com $R = 9{,}58$ m, a espessura no fecho é de 0,35 m e nas nascenças 0,70 m.

Considerando o enchimento a actuar apenas como fôrças verticais, obtém-se os seguintes efeitos máximos absolutos, nas nascenças, para tôdas as hipóteses regulamentares de carga e sobrecarga de pontes de estradas:

Momento flector $M = 30{,}2$ Ton×m (p. m. l.)
Esfôrço normal $N = 36{,}8$ Ton (p. m. l.)

Se efectuarmos o enchimento com terras de ângulo de atrito $\varphi = 35{,}^{\circ}$ segundo as considerações que temos vindo fazendo, obtém-se:

$M = 33{,}0$ Ton × m (p. m. l.)

$N = 35{,}0$ Ton (p. m. l.)

Estes esforços dão um aumento nas tensões de cêrca de 8 % das calculadas na primeira hipótese, como média.

Se o enchimento em vez de ser executado com terra fôsse com pedra arrumada, possuindo um coeficiente de atrito de escorregamento de 0,5 com a chapa hidraúlica da abóbada, teríamos:

$M = 35{,}2$ Ton × m (p. m. l.)

$N = 33{,}8$ Ton (p. m. l.)

A estas novas solicitações corresponderiam, em relação às primitivas, os aumentos seguintes nas tensões dos materiais:

betão — 14 %

ferro — 26 %

o que dispensa qualquer comentário.

Escolhemos, prepositadamente, para exemplo, um arco de mais corrente abatimento. Se se tratasse dum arco de volta inteira, ou ainda dum arco francamente elevado, a comparação das tensões excederia tôda a espectativa. Não exageramos se dissermos que as tensões unitárias podem triplicar.

Tais são, em resumo, a nosso ver, os severos efeitos que o enchimento dos tímpanos das abóbadas pode dar lugar.

([1]) A não ser que o extradorso seja feito em degraus, por planos horizontais e verticais, ùnicamente.

A acção catalítica do ácido clorídrico concentrado sôbre a hidrólise do acetato de metilo

PELO DR. ARTUR DE SOUSA

Introdução

Entre as reacções clássicas da cinética química, a hidrólise dos esteres em presença dos ácidos, é considerada desde há 50 anos como uma das reacções importantes e por vezes típica no estudo da acção catalítica dos ácidos, alcalis e sais.

Ostwald [1] e Trey [2] foram os primeiros a estudar e aplicar êste método à catálise por diversos ácidos minerais e orgânicos. Os esteres mais vulgares, mais fáceis de obter no estado puro, são geralmente o acetato de metilo e o acetato de etilo. Em determinados casos os autores adicionam sais neutros ao ácido catalisador [3].

No seu trabalho sôbre a hidrólise do acetato de metilo, Ostwald [4], observa que uma solução aquosa de acetato de metilo, de acetato de etilo ou de qualquer outro ester, abandonada durante alguns dias [5] à temperatura ambiente (20° a 25° C) se decompõe parcialmente em álcool e ácido [6]. Juntando a esta mesma solução aquosa de ester algumas gotas de ácido clorídrico ou de ácido nítrico, constata-se que a quási totalidade de ester contida na solução é decomposta.

Na acção catalítica dos ácidos admitiu-se primeiramente a hipótese de que a constante da velocidade é proporcional à concentração do catalisador. Com efeito, os resultados obtidos neste sentido foram bastante concludentes, mas os investigadores apenas entraram em linha de conta com a concentração do catalisador. Assim encontrou-se uma relação de proporcionalidade entre as constantes de velocidade observadas e a concentração do catalisador que foi verificada para todos os meios diluídos. Depois, admitiu-se a existência de proporcionalidade entre a constante de velocidade e a concentração dos iões hidrogénio, determinada a partir das conductibilidades eléctricas, e esta hipótese verifica-se igualmente em todos os meios diluídos [1]. Todos estes trabalhos sôbre a hidrólise dos esteres foram efectuados em meio diluído. As dificuldades de técnica, as anomalias verificadas nos resultados e a falta de interêsse que então despertavam as medidas executadas com ácidos concentrados explicam a razão porque os autores trabalharam com ácidos diluídos e nunca com ácidos muito concentrados.

Só nos últimos anos se deslocou a atenção, da concentração dos iões H^+ para a actividade dêstes mesmos iões, e, em determinados trabalhos tomou-se também em consideração a actividade da água, a actividade do anião do sal e a actividade do ester na mistura. Estes trabalhos foram efectuados sobretudo por químico-físicos americanos [2],

(1) J. prakt. Chem. 28, p. 449 (1883).
(2) J. prakt. Chem. 34, p. 353 (1886).
(3) Schreiner: Z. F. anorg. Chem. 116, p. 102 (1921).
Taylor: Medd. K. Vetenskapakad. Nobelinst. 2 N.º 11, (1912).
Trey: J. prakt. Chem. 34, p. 353 (1886).
Akerlof: Z. f. phys. Chem. 98, p. 284 (1921).
(4) J. parkt. Chem. 28. p. 449 (1883).
(5) Wijs: Z. f. phys. Chem. 11, p. 492 (1893).
(6) Foussereau: C. R. 104, p. 1265 (1887).

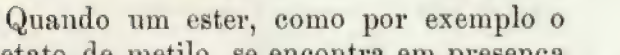
(1) Griffith et Lewis: J. Chem. Soc. 109, p. 67 (1916).
Schreiner: Z. F. anorg. Chem. 116, p. 102 (1921).
(2) Harned et Pfanstiel: J. Am. Chem. Soc. 44, p. 2193 (1922).
Harned et Seltz: J. Am. Chem. Soc. 44, p. 1475 (1922).
Mac Innes: J. Am. Chem. Soc. 41, p. 1086 (1919).
Harned: J. Am. Chem. Soc. 42, p. 1808 (1920).
Harned: J. Am. Chem. Soc. 37, p. 2460 (1915).
Schreiner: Z. f. anorg. Chem. 116, p. 102 (1921).
Akerlof: Z. f. phys. Chem. 98, p. 260 (1921).

partidários da teoria das concentrações termodinâmicas [1].

Os últimos trabalhos publicados sôbre a hidrólise do acetato de metilo, que interessam a êste estudo, são os de Lamble e Lewis [2] e de Griffith, Cudmore e Lewis [3].

Estudo geral da hidrólise do acetato de metilo

Quando um ester, como por exemplo o acetato de metilo, se encontra em presença de um excesso de água, produz-se a transformação seguinte, chamada hidrólise:



$$CH_3COOCH_3 + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + CH_3OH$$

Quanto maior for a quantidade de água tanto mais o equilíbrio se desloca da esquerda para a direita, isto é, com um grande excesso de água e a uma temperatura elevada (50° C por exemplo) a hidrólise será quási completa ao fim de algumas horas. Êste equilíbrio foi estudado por Knoblauch [4] e por Jones e Lapworth [5], bem como por um grande número de outros investigadores.

Já deixámos dito que esta hidrólise se efectua muito lentamente (alguns dias) a baixa temperatura, numa solução aquosa contendo ester e água. A presença de um ácido mineral ou orgânico, eventualmente adicionado de um sal acelera esta transformação sem contudo formar combinações definidas com os produtos da transformação.

A temperatura constante, e para uma dada reacção, a velocidade de decomposição do ester em álcool e ácido, é dada pela equação diferencial

$$\frac{dx}{dt} = k(a - x)$$

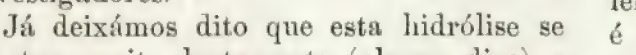
onde a é a quantidade inicial de ester
x é a quantidade de ester transformado no instante t
k é uma constante denominada «constante de velocidade».

Integrando esta equação obtém-se para valor de k:

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{T_\infty - T_o}{T_\infty - T}$$

A determinação de k para uma dada hidrólise faz-se mediante várias leituras efectuadas em diferentes instantes. A estes intervalos correspondem valores diferentes de T. Esta fórmula dá bons resultados quando se não tomem valores de T muito próximos do início da reacção ou correspondentes aos últimos dois terços da reacção. Para as leituras mais próximas do final da reacção é necessário empregar uma fórmula completa.

Com êste fim, consideremos a equação stoequiométrica da hidrólise do acetato de metilo:



$$CH_3COOCH_3 + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + CH_3OH$$

Designando por «a» a quantidade inicial de ester e por «x» a quantidade transformada no instante *t*, escrevemos acima a equação diferencial que exprime a velocidade de hidrólise. Ao escrever esta equação admitimos que apenas a concentração de ester varia durante a hidrólise e que a concentração da água que também toma parte na reacção não sofre contudo nenhuma variação. Na realidade assim não é porque a água também sofre uma variação de concentração. Portanto teòricamente a hidrólise do acetato de metilo é uma reacção bi-molécular. Por aproximação desprezamos a variação de concentração da água. Com

---

(1) Ellis: J. Am. Chem. Soc. 38, p. 737 (1916).
Harned: J. Am. Chem. Soc. 44, p. 252 (1922).
Lewis et Randall: J. Am. Chem. Soc. 43, p. 1112 (1921).
Taylor: Medd. k. Vetenskapakad. Nobelisnt. 2, N.º 35 (1913).
Taylor: Proc. Roy. Soc. Edinburgh 22, p. 484 (1897).
Lunden: Z. f. phys. Chem. 49, p. 189 (1904).
Schreiner: Z. F. anorg. Chem. 116, p. 102 (1921).
G. N. Lewis: Proc. Am. Acad. Sci. 37, p. 49 (1901).
G. N. Lewis: Proc. Am. Acad. Sci. 43, p. 259 (1907).
(2) J. Chem. Soc. 105, p. 2330 (1914).
(3) J. Chem. Soc. 109, p. 67 (1916).
(4) Z. f. phys. Chem. 22, p. 268 (1867).
(5) J. Chem. Soc. 99, p. 1427 (1911).

efeito, há muito pouco ester em presença dum grande excesso de água, e é esta a razão, porque a fórmula que indicámos dá uma constante de hidrólise satisfatória. Contudo para sermos precisos é necessário considerar a equação completa de velocidade de hidrólise, onde a variação da concentração da água intervém e onde se tem em conta a reacção antagonista. Assim é, porque à medida que as quantidades de álcool e de ácido aumentam maior é a formação de ester.

Sejam k_1 a constante de velocidade de decomposição do ester e k_2 a constante de velocidade de formação do ester, porque a reacção é reversível. A velocidade de hidrólise, tendo em conta todos os factores mencionados pode-se escrever:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (a - x)(b - x) - k_2 x^2$$

nesta expressão:

b = concentração inicial da água

o termo $(b - x)$ representa a variação de concentração da água e o termo $k_2 x^2$ precedido pelo sinal — é a correcção devida à reacção antagonista.

Fazendo $k_2/k_1 = K$ onde K é a constante de equilíbrio dada pela relação:

$$K = \frac{(\text{ester}) \times (\text{água})}{(\text{álcool}) \times (CH_3COOH)}$$

Vem $k_2 = Kk_1$. Substituindo na equação diferencial completa temos:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (a - x)(b - x) - Kk_1 x^2$$

Seja $y = a + b$ e $A = \sqrt{(a+b)^2 + 4(K-1)ab}$

a integração desta equação diferencial dá-nos, tomando em conta as condições iniciais, isto é, para $t = 0$, $x = 0$:

$$k_1 = \frac{1}{tA} \log \frac{A + y + 2(K-1)x}{A - y - 2(K-1)x} \cdot \frac{A + y}{A - y}$$

Não utilizámos esta última fórmula para o cálculo das constantes. A fórmula simples é suficientemente precisa. Contudo justificamos o emprêgo da formula simples mediante o seguinte raciocínio:

Na equação:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 (a - x)(b - x) - Kk_1 x^2$$

x é desprezível em face de *b*, e o termo $Kk_1 x^2$ é muito pequeno comparado com o primeiro termo. Podemos portanto transformar esta expressão e escrever:

$$\frac{dx}{dt} = k_1 b (a - x)$$

o produto $k_1 b$ é constante porque *b* varia pouco durante a reacção e podemos escrever

$$\frac{dx}{dt} = K (a - x)$$

em que $K = k_1 b$.

A integração desta última equação dá para valores de k:

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{a}{a - x}$$

Examinemos agora o papel do ácido catalisador no «processus» da hidrólise do acetato de metilo ou dum outro ester. As hipóteses mais antigas ([1]) admitem que a velocidade de hidrólise é geralmente proporcional à concentração do catalisador quando êste fôr um ácido forte, e à concentração do composto de adição ([2]) formado por ester e ácido. Segundo Falk e Nelson ([3]) o efeito catalítico do HCl sôbre a hidrólise pode-se explicar pelas seguintes reacções:

(1) $[CH_3COOC_2H_5 + HCl \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5, HCl$

([1]) Kastle: Stieglitz: Am. Chem. J. 39 p. 421 (1908). J. Am. Chem. Soc. 38 p. 301 (1917).

([2]) Lewis: A system of physical chemistry Tome I p. 416.

Acree: Am. Chem. J. 48 p. 352 (1912).

Rosanoff: Am. Chem. J. 39 p. 29 e p. 60 (1908).

([3]) J. Am. Chem. Soc. 37 p. 1732 (1915).

$$(2)\quad CH_3COOC_2H_5,HCl + H_2O \rightleftarrows CH_3COOC_2H_5,HCl,H_2O$$

$$(3)\quad CH_3COOC_2H_5,HCl,H_2O \rightleftarrows C_2H_5OH,HCl + CH_3COOH$$

$$(4)\quad C_2H_5O,HCl \rightleftarrows C_2H_5OH + HCl$$

A existência dos complexos $CH_3COOC_2H_5$, HCl e $CH_3COOC_2H_5,HCl,H_2O$ foi demonstrada por Baume e Pamfil (1) e por Kendall (2). Doutro lado Maas e Mc Intosh (3) provaram a existência dos complexos $CH_3COOC_2H_5.HCl$; $CH_3COOC_2H_5,HCl$; e de 2 ($CH_3COOC_2H_5$), 5HCl. Deve-se observar que êste mecanismo de catálise dos esteres atribue a acção catalítica ùnicamente à molécula não dissociada de ácido e não à concentração do ião hidrogénio.

A hipótese que atribue a actividade catalítica aos iões hidrogénio foi admitida pela maioria dos autores antes que a noção de actividade termodinâmica tivesse aparecido. Segunda a hipótese dos iões hidrogénio teremos:

$$\text{velocidade de hidrólise} = k' . C_{ester} . C_H . C_{água}$$

como se supõe que $C_{água}$ é constante para uma dada reacção teremos que:

$$\text{velocidade de hidrólise} = k . C_H . C_{ester}$$

A maioria dos investigadores admite a existência dum composto intermediário iónico entre os iões hidrogénio e o ester (4). Têm sido propostos dois esquemas de composto intermediário:

$$\text{I}\quad CH_3COOC_2H_5 + H^+ \rightleftarrows (CH_3COOC_2H_5 . H)^+ \quad (a)$$

$$(CH_3COOC_2H_5 . H)^+ + H_2O \rightarrow CH_3COOH + C_2H_5OH + H^+ \quad (b)$$

(1) Comptes rendues 4911, 1911 e anos seguintes.
(2) J. Am. Chem. Soc. 1914 e anos seguintes.
(3) » » » » 34 p. 1288 (1912).
(4) Congress of Arts & Sciences, St. Louis Tomo 4 p. 276 (1904).

O ester e o ião, H^+ reagem muito rápidamente e formam o catião do complexo, intermediário que por sua vez reage com a água e transforma-se quási que inteiramente em ácido e em álcool, regenerando o ião H^+.

$$\text{II}\quad CH_3COOC_2H_5 + H_2O + H^+ \rightleftarrows \left[CH_3C(OH)(H)-O-C_2H_5(OH) \right]^+ \quad (a)$$

$$\left[CH_3C(OH)(H)-O-C_2H_5(OH) \right]^+ \rightarrow CH_3COOH + C_2H_5OH + H^+ \quad (b)$$

A existência dêstes complexos não foi demonstrada o que dá um valor puramente hipotético às duas explicações do mecanismo de hidrólise dos esteres em presença dos iões H^+.

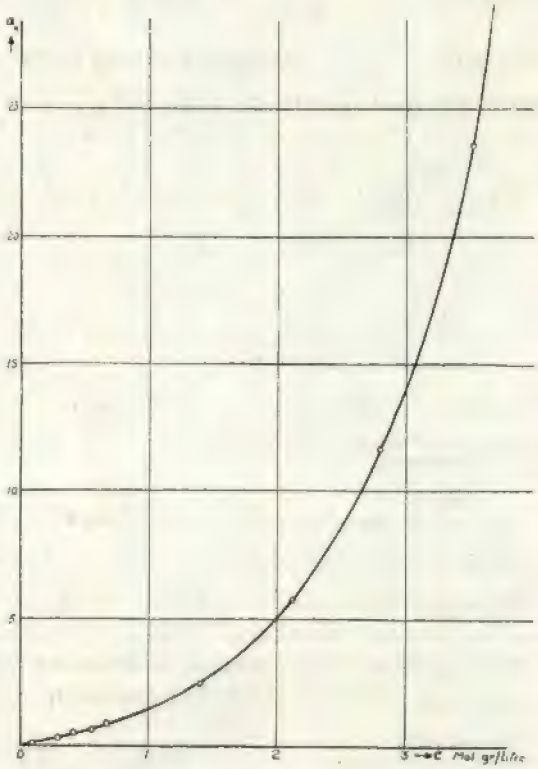


Fig. 1 — Gráfico indicando a actividade do ácido clorídrico em função da molaridade das soluções

Depois da criação da teoria das actividades por G. N. Lewis, certos autores ([1]) tentaram interpretar a acção catalítica do ácido por meio da actividade do ião H^+, do ester e da água. Assim a velocidade de hidrólise dum ester em presença dum ácido pode-se escrever:

$$V = k \cdot a_e \cdot a_H \cdot a_w$$

em que:

k = constante de hidrólise
a_e = actividade do ester

como

a_H = actividade do ião hidrogénio
a_w = actividade da água

Admitindo que para uma dada reacção o produto $a_H \cdot a_w$ é constante e designando o produto $k \cdot a_H \; a_w$ por k', em que k' é a constante observada, teremos:

$$V = k' \cdot a_e$$

Harned e Pfanstiel ([2]) determinaram os valores de $\frac{k'}{a_w \cdot a_H}$ e verificaram que para as concentrações de HC1 entre 0,01 e 1,5

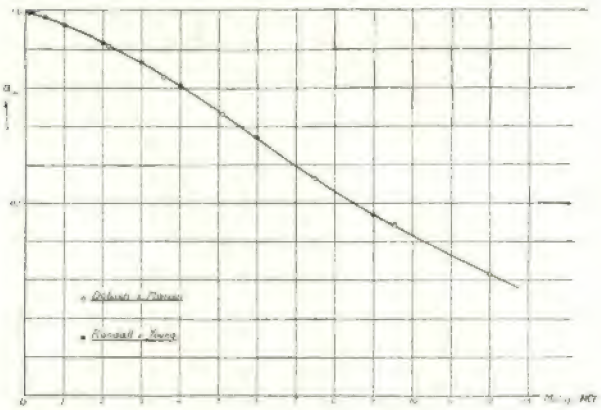


Fig. 2 — Gráfico indicando a actividade da água nas soluções de ácido cloridrico, em função da molaridade das soluções de ácido (segundo os valores de Dobson e Masson, Randall e Young).

normal os valores desta relação variavam entre 1,248 e 0,980, sendo máximos para a concentração 0,3 normal.

Esta tentativa de mostrar que a constante de velocidade é proporcional à actividade do ião H^+ e à da água, não é muito convincente porque os valores a_H e de a_w variam muito pouco entre as concentrações extremas de ácido escolhidas por estes autores. Retomámos esta hipótese que discutiremos mais adiante.

Parte experimental

Deixámos dito na introdução que determinados autores tentaram mostrar que na hidrólise dos esteres existia uma proporcionalidade entre a constante de hidrólise e a actividade dos iões H^+, mas infelizmente estes investigadores contentaram-se com a verificação desta hipótese em meio diluído e não muito concentrado, isto é, em que as concentrações de ácido não ultrapassam 1,5 Moles. Ora a actividade dos iões hidrogénio cresce muito ràpidamente com a concentração como se vê na fig. 1. Quanto mais concentrado fôr o ácido tanto maiores serão os valores da actividade e por conseguinte teremos possibilidade de verificar sôbre um conjunto de concentrações maiores se existe proporcionalidade entre a constante de velocidade observada e a actividade dos iões H^+ do ácido catalisador.

Dispuzemo-nos portanto a fazer as medidas de hidrólise do acetato de metilo em presença do ácido clorídrico com a concentração variando entre 0,1 e 4,1 Moles. Fizemos também ensaios com ácido clorídrico com concentrações até 6 Moles, mas não falaremos destes últimos ensaios porque eles apenas foram possíveis graças a uma técnica muito especial. No quadro I reproduzimos as concentrações das nossas soluções de ácido cloridríco seja em normalidade, seja em molaridade, isto é, o número de moléculas gramas dissolvidas em 1.000 gr. de água. A par destas duas colunas indicámos a actividade dos iões H^+ determinada por meio da pilha de hidrogénio ([1]). Na última coluna do Quadro I indica-

([1]) J. Am. Chem. Soc. 44 p. 1475 (1922)
([2]) J. Am. Chem. Soc. 44 p. 2193 (1929).

([1]) Devemos agradecer ao nosso amigo Dr. J. Rochat estas determinações da actividade.

SACOR

Sociedade Anónima Concessionária de Refinação de Petróleos em Portugal

(S. A. R. L.)

CAPITAL:

15.000.000 DE ESCUDOS

REFINARIA EM LISBOA

(CASAL DAS ROLAS / CABO RUIVO)

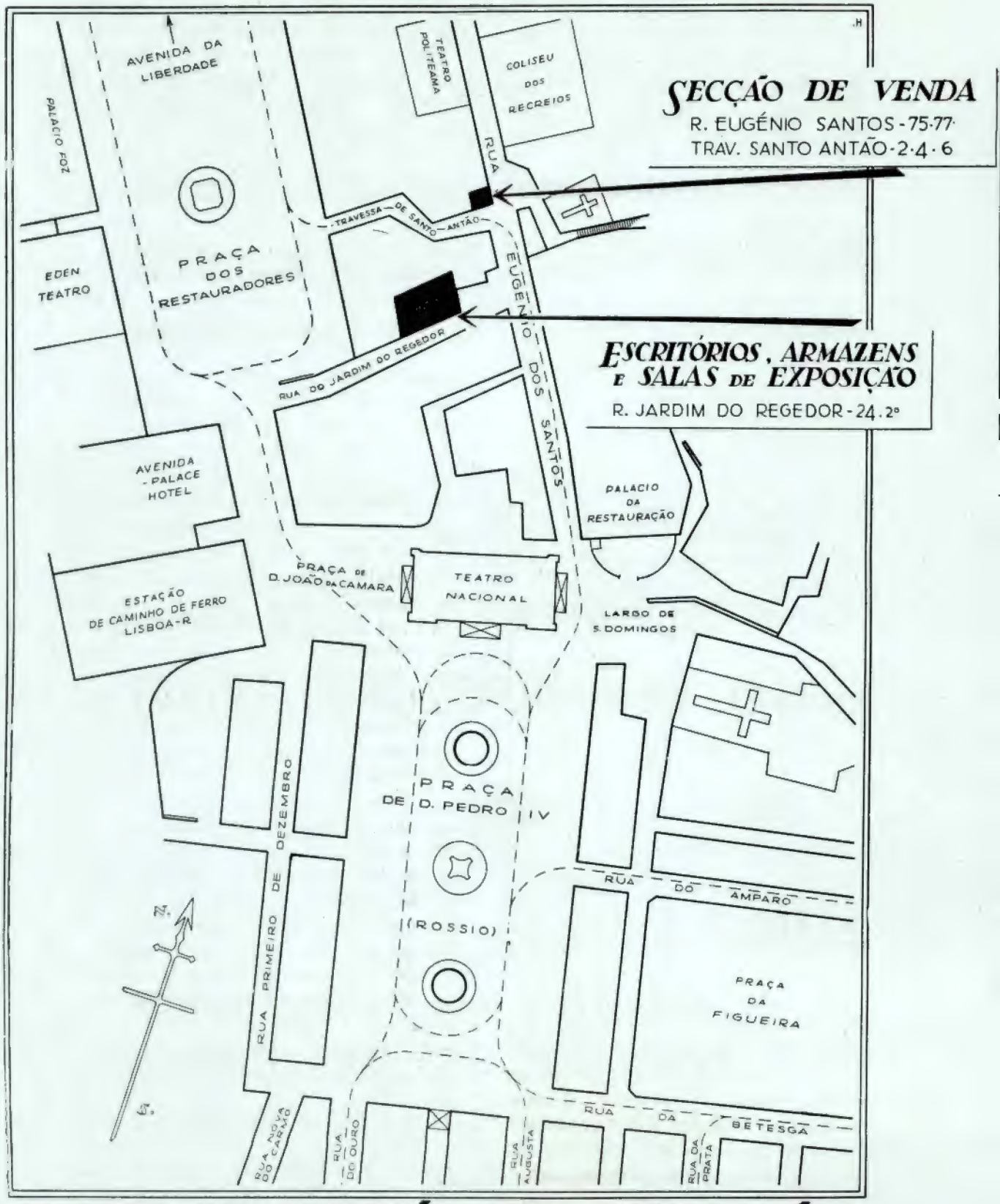
SEDE:

LISBOA — Rua do Alecrim, 57

Telegramas SACOR-LISBOA

Telefones 2 8035 e 2 8039

PARA AS SUAS COMPRAS DE: — Material para Desenho
Instrumentos de Precisão — Todos os artigos e Livros Técnicos



PLANTA DE SITUAÇÃO DAS INSTALAÇÕES DE PIZARTEL & CASQUILHO, L.DA

mos as constantes de velocidade obtidas para estas diferentes soluções. A fig. 3,

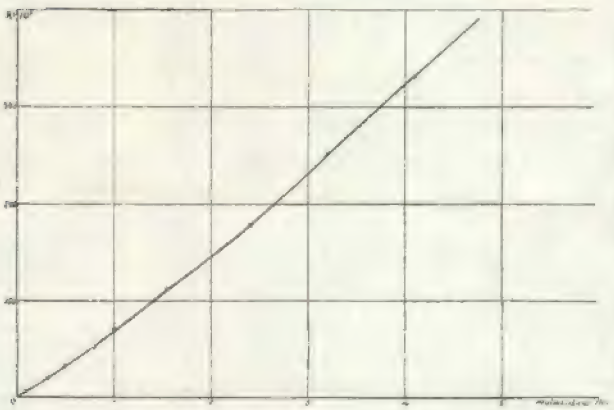


Fig. 3 – Gráfico reproduzindo as constantes de velocidade obtidas em função da concentração do ácido catalisador

reproduz estas constantes de velocidade em função da concentração expressa em Moles.

QUADRO I

C Normalidade	m Molaridade	a_H Actividade	$k \times 10^5$
0.0997	0.100	0.085	6.2
0.3187	0.321	0.268	20.0
0.4950	0.499	0.398	32,5
0.6460	0.655	0.630	42.4
0.7854	0.799	0.810	52.5
0.9790	1.000	1.100	70.5
1.5080	1.555	2.490	112.5
2.2830	2.390	5.760	169.0
3.0110	3.200	11.650	251.4
3.7890	4.100	33.530	331.0

Para as medidas até 1,5 N não encontrámos dificuldades especiais na técnica das operações mas querendo ultrapassar esta concentração fomos obrigados a estudar uma técnica nova. Não entraremos aqui nos detalhes dessa técnica que exporemos num artigo ulterior. Resumiremos contudo os princípios da nossa técnica usual. A mistura ácido-ester (juntamos 4 % de acetato de metilo a cada uma das soluções de HCl), foi colocada num termostato a 25° ± 0.05° C. Fizemos tomas em intervalos apropriados segundo a velocidade da reacção. Por exemplo com ácido 0,1 Moles a operação dura 10 horas e fizemos tomas de meia em meia hora aproximadamente; enquanto que para o ácido 4,1 Moles a operação dura 30 minutos e as tomas são feitas de 5 em 5 minutos. A quantidade de mistura que constitue a toma é neutralizada por uma solução de barita de título conhecido, tomando-se nota do número de centímetros cúbicos empregados. Para a técnica especial é necessário fazer esta neutralização muito ràpidamente a-fim-de evitar que a reacção continue após se fazer a toma.

Em meio concentrado, isto é, acima de 1,5 N as determinações da constante de velocidade tornam-se difíceis e há diversas precauções a tomar a-fim-de assegurar uma boa precisão nas medidas. Citaremos entre outras as seguintes precauções: grande exactidão na constância da temperatura do termostato, muito cuidado nas titulações e nas tomas de amostras, preparação exacta e purificação das soluções utilizadas. Com efeito, as impurezas minerais podem agir como catalizadores e falsear a determinação das constantes de velocidade. Calculámos sempre os pontos inicial e final de tôdas as reacções confrontando-os em seguida com os resultados experimentais obtidos. Como já observámos [1] o conhecimento exacto dos valores inicial e final é indispensável para obter constantes de velocidade exactas.

Verificámos se o ester exercia influência sôbre a actividade das soluções de ácido clorídrico. Com êste fim medimos os potenciais de soluções puras de HCl e de soluções de HCl adicionadas de 4 % de acetato de metilo por meio de uma pilha «Hidrogénio-Calomelano saturado». Constatámos que em meio concentrado não há influência notável sobre a actividade, enquanto que em meio diluído há um desvio de 1 a 2 % sôbre a actividade do ião Hl [2]. Para as actividades da água nas soluções de ácido clorídrico consideramos

(1) Dr. A. de Sousa: «Determinação do ponto final das reacções monomoleculares». Técnica Julho 1940.

(2) Agradecemos ao nosso amigo Dr. R. Pièce o auxílio que nos prestou nestas medidas.

os valores de Dobson e Masson ([1]) e de Randall e Young ([2]) (gráficos da fig. 2).

A título de justificação da exactidão da nossa técnica, reproduzimos os resultados de algumas medidas em meio concentrado. Fizemos todas as medidas em duplicado a-fim-de eliminar dúvidas e verificar erros.

QUADRO II

HCl 1.508 N — HCl 1.555 Molar

Valores de t em minutos	Cc. de Barita	Valores de $k \times 10^5$
0	40.68	—
4.8 (?)	41.22	—
9.8	41.82	493
15.2 (?)	42.32	—
20.0	42.85	486
26.0	43.4	483
33.6	44.08	487
41.8	44.68	480
54.2	45.6	485
65.0	46.3	489
82.6 (?)	47.75	—
119.1	48.6	480

$T_\infty = 51.5$ média = 489
segundo ensaio = 491

QUADRO III

HCl 2.283 N — HCl 2.390 Molar

Valores de t em minutos	Cc. de Barita	Valores de $k \times 10^5$
0	5.95	—
3.29	7.2	730
6.49	8.4	743
10.10	9.6	733
13.45	10.7	737
17.19	11.8	732
20.32	12.8	747
23.89	13.7	737
27.07	14.55	739
31.14 (?)	15.75	—
34.35	16.4	748
37.79	17.1	—
41.12	17.65	735
45.97	18.50	734

$T_\infty = 28.95$ média = 733
segundo ensaio = 730

([1]) J. Chem. Soc. 125 p. 668 (1924)
([2]) J. Am. Chem. Soc. 50 p. 989 (1928).

QUADRO IV

HCl 3.011 N — HCl 3.20 Molar

Valores de t em minutos	Cc. de Barita	Valores de $k \times 10^5$
0	9.2	—
2.88	10.7	1068
7.27	12.9	1120
10.38	14.35	1120
13.12	15.4	1100
16.68	16.85	1118
19.75	17.85	1105
22.53	18.7	1095
25.59	19.6	1092
28.25	20.4	1100
31.25	21.2	1120
34.27	21.9	1120
37.37	22.4	1073
41.20	23.25	1081

$T_\infty = 31.16$ média = 1091
segundo ensaio = 1072

QUADRO V

HCl 3.789 N — HCl 4.10 Molar

Valores de t em minutos	Cc. de Barita	Valores de $k \times 10^5$
0	10.0	—
2.52 (?)	11.55	1500 (?)
5.42	13.0	1410
8.07	14.4	1450
10.92	15.5	1395
13.59	16.85	1465
16,35	17.7	1420
19.07	18.75	1450
21.84	19.5	1420
24.74	20.4	1440
27.59	21.0	1405
30.27	21.5	1385

$T_\infty = 28.6$ média = 1436
segundo ensaio = 1441

Interpretação dos resultados e conclusões

Efectuámos um grande número de medidas das quais apenas reproduzimos as que estão contidas nos 4 quadros anteriores. Com êste conjunto de medidas vamos ensaiar uma explicação dos resultados e em seguida tirar conclusões.

Na hidrólise do acetato de metilo reagem três substância: o ester, a água e o ácido. Sem fazer por enquanto hipóteses sôbre o mecanismo de reacção podemos procurar interpretar os resultados por meio da teoria das actividades termodinâmicas ([1]). Estabelecemos uma equação diferencial em que a velocidade de transformação do ester é proporcional à actividade do ião H^+ e à da água:

$$\frac{dx}{dt} = k'(C_{ester} - x) \cdot a_H^m \cdot a_w^n$$

Trata-se de encontrar o valor numérico de *n* e de *m*, conhecendo para uma dada solução a_H e a_w (fig. 1 e fig. 2) com as nossas medidas de hidrólise efectuadas em meio diluído pudemos determinar o valor $m = 1$. Resta-nos determinar o valor numérico de *n*. Examinando a equação diferencial que escrevemos acima vemos que ela se pode intregrar e tirar então o valor da constante de velocidade k':

$$k' = \frac{1}{a_H^m \cdot a_w^n} \cdot \frac{1}{t} \log_e \frac{C_{ester}}{C_{ester} - x}$$

Mas, no início dêste estudo, no capítulo consagrado ao estudo geral da hidrólise do acetato de metilo, escrevemos o valor de k (constante observada):

$$k = \frac{1}{t} \log_e \frac{C_{ester}}{C_{ester} - x}$$

entre k e k' existe portanto a relação:

$$k' = \frac{k}{a_H^m \cdot a_w^n} = \text{Constante}$$

é precisamente esta relação que vamos justificar para os nossos valores experimentais. Já verificámos os valores de *m*. Teremos por conseguinte $m = 1$. A expressão acima torna-se:

$$k' = \frac{k}{a_H \cdot a_w^n} = \text{Constante}$$

Como se determina *n*? Empìricamente dando a *n* os valores $n = 0$, $n = 1$, $n = 2$, etc. até que obtenhamos uma boa constância de k' para determinada série de medidas. O quadro VI reune as nossas tentativas de determinação do expoente da actividade da água. Constatámos que só interessa considerar os valores $n = 6$, $n = 7$, $n = 8$.

Examinando o Quadro VI vemos que a relação $\frac{k \cdot 10^4}{a_H}$ está longe de ser constante pois que varia de 75,3 a 14,4 quando a concentração do ácido varia de 0,1 Moles a 4,1 Moles. Podemos portanto concluír que não há uma proporcionalidade estricta entre a constante de velocidade e a actividade dos iões Hl do ácido catalisador. A actividade dos iões Hl aumenta muito mais rápidamente que a velocidade quando a concen-

QUADRO VI

m Molaridade	$k \cdot 10^4$	a_H	a_w	$\frac{k \cdot 10^4}{a_H}$	$\frac{k \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^6}$	$\frac{k \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^7}$	$\frac{k \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^8}$
0.1	6.2	0.0825	0.995	75.3	77.6	77.9	78.3
0.321	20.0	0.271	0.988	73.8	79.4	80.4	81.4
0.499	32.5	0.450	0.982	72.2	80.4	82.0	83.5
0.655	42.4	0.630	0.975	67.4	78.6	80.5	82.5
0.799	52.5	0.813	0.970	64.6	77.6	79.8	82.5
1.00	70.5	1.11	0.965	63.5	78.7	81.5	84.5
1.55	112.5	2.27	0.940	49.6	71.9	76.4	81.4
2.39	169.0	5.35	0.895	31.6	61.5	68.7	76.8
3.20	251.4	11.05	0.850	22.8	60.7	69.5	81.8
4.10	331.0	23.08	0.795	14.4	57.0	72.0	90.3

([1]) Lewis et Randall: «Thermodynamics» 1923 New York.

tração de HCl aumenta. Como já dissemos pusemos de lado os valores do expoente da actividade da água inferiores a 6 e superiores a 8 porque a constância da relação $\frac{K \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^n}$ não é satisfatória. Entre os expoentes de a_w deve-se notar que $n = 7$ conduz a resultados rigorosamente constantes. Com efeito para $n = 7$ a relação apenas varia entre 1 e 1,1 enquanto que a actividade dos iões H^+ varia na proporção de 1 para 280 e a constante de velocidade na proporção de 1 para 53,3. Dadas estas grandes variações da concentração do ácido podemos dizer que a fraca variação da relação $\frac{K \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^7}$ pode ser considerada como pràticamente nula, e portanto resulta daí que a relação é constante para $n = 7$. Que quere isto dizer sob o ponto de vista cinético da hidrólise do acetato de metilo? A seguir expomos a nossa opinião.

Conclusões

Hipótese sôbre o mecanismo da reacção

Como a relação $\frac{K \cdot 10^4}{a_H \cdot a_w^7}$ é constante podemos admitir que a quási totalidade de ester existe na solução no estado anidro em equilíbrio com uma fraca quantidade no estado hidratado:

$$\text{Ester} + 7\,H_2O \rightleftarrows (\text{ester},\ 7\,H_2O)$$

o «procesus» de hidrólise faz-se em duas fases; numa primeira reacção o ester hidratado reage com os iões H^+ para formar um ião complexo pouco estável; numa segunda reacção o ião complexo decompõe-se instantâneamente formando alcool metálico e ácido acético e regenerando o ião hidrogénio. As duas reacções realizam-se esquemàticamente da seguinte maneira:

$$(\text{Ester},\ 7\,H_2O) + H^+ \rightleftarrows (\text{Ester},\ 7\,H_2O, H^+)$$

$$(\text{Ester},\ 7\,H_2O, H^+) \rightarrow CH_3COOH + CH_3OH + H^+ + 6H_2O$$

A primeira reacção é lenta, tendo sido a sua velocidade determinada por nós. A segunda é instantânea e escapa a todo o controle experimental.

Centro de Estudos de Física
Laboratório de Física do I. S. T.

O BICHO DOS NAVIOS

(TEREDO NAVALIS)

As madeiras quando em imersão na água doce são atacadas por fungos que se lhes agarram à linha d'água. Porém, quando essas madeiras estão em contacto com águas salgadas, tanto na construção de navios como em estacas, ficam expostas aos ataques do BICHO dos NAVIOS.

O TEREDO pertence à espécie «MOLLUSCA» (que é o grupo que abrange os Caracoes-Ostras e outros Molluscos), sendo um bicho com maxilares próprios para a perfuração.

As larvas do TEREDO flutuam livremente na água até estarem completamente desenvolvidas quando então se agarram às madeiras em submersão. Nessa altura o seu tamanho não excede a cabeça de um alfinete.

Começam então imediatamente a furar a madeira, e os buracos aumentam conforme o bicho cresce, tornando a madeira atacada numa rêde semelhante à de um favo das abelhas.

Os orifícios variam entre apenas alguns milímetros a dois centímetros e meio de diametro ou mesmo mais.

A CAROCHA DA MADEIRA (LIMORIA LIGNORUM) — Pertence ao grupo dos crostáceos que é o grupo que abrange os carangueijos, lagostas, etc.

É um bicho pequeníssimo tal como o bicho vulgar da madeira e cujo comprimento anda por cinco milímetros aproximadamente.

A-pesar-do seu tamanho diminuto é capaz de causar grandes prejuízos à madeira. Ao passo que o TEREDO fura para o interior, a Carocha ataca a parte exterior fazendo um sem numero de buracos apenas com alguns centímetros de fundo, após o que a acção e fôrça das correntes e ondulação das águas depressa se encarregam de descascar estas superfícies atacadas.

Êste facto habilita a Carocha a recomeçar de novo o seu trabalho destruídor sôbre a superfície lavada pelas águas.

Desta forma grandes superfícies de madeira são destruídas.

Há um outro bicho conhecido em latim por «CHELURA TEREBRANS» que não só é semelhante à Carocha como também muitas vezes se associa a esta para trabalharem juntas na destruição das madeiras

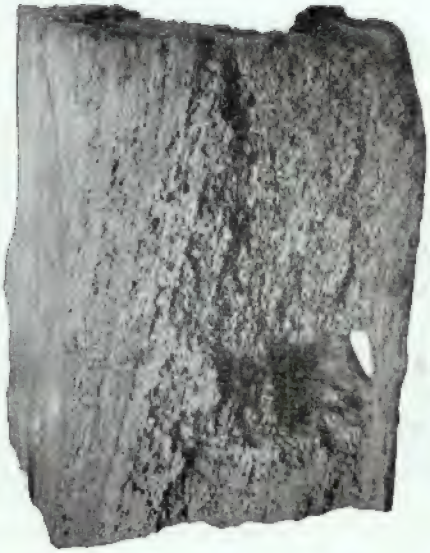
TRATAMENTO —

O CUPRINOL sendo insolúvel na água resolve o problema dos ataques dos «perfuradores marinhos». Para se conseguir uma resistência eficaz à acção da água é necessário fazer-se a imersão da madeira em CUPRINOL VERDE ou então darem-se sucessivas aplicações de CUPRINOL com uma brocha, tendo o cuidado de pintar cada demão antes da anterior estar sêca. O efeito dêste tratamento é conseguir que a madeira fique com a resistência necessária para poder resistir aos referidos ataques.

Teredo navalis
(metade do tamanho)

Carocha aumentada 22 vezes

Tamanho natural



Madeira atacada pelo Teredo

Madeira atacada pela carocha

Fabricado e patenteado por CUPRINOL, Ld., Bristol - Inglaterra
Distribuído por JENSON & NICHOLSON, Ld., Londres

Distribuidores exclusivos para ortugal e Colónias

Sociedade Robbialac, Limitada

Rua Nova do Carvalho, 15, 1.º—LISBOA—Telef. (P. B. X.) 2 7000

Depositário no PORTO

DROGARIA TIAGO DA COSTA

RUA S. JOÃO, 33 — PORTO

PREÇOS

(O galão inglês tem 4,5 litros)

5 galões	330$00
1 galão.....	77$00
1/2 galão.....	41$25
1/4 galão.....	22$00
1/8 galão ou pinta	12$00
1/16 galão ou 1/2 pinta	6$60

PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

PUBLICAÇÕES NÃO PERIÓDICAS

Administração Geral do Pôrto de Lisboa — Relatório, contas e elementos estatísticos do ano de 1938.

Política Externa Portuguesa — Artigo publicado no «Diário da Manhã», de 7 de Novembro de 1940.

PUBLICAÇÕES PERIÓDICAS

PORTUGAL

AGROS — Maio e Junho de 1040.

A ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERÂMICA E EDIFICAÇÃO — Outubro de 1940.

ANAIS DO CLUB MILITAR NAVAL — Setembro e Outubro de 1940.

BOLETIM DA ORDEM DOS ENGENHEIROS — Novembro de 1940.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Novembro de 1940.

BROTÉRIA — Novembro de 1940.

CLÍNICA, HIGIENE E HIDROLOGIA — Outubro de 1940.

ESTUDOS — Outubro de 1940.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.os 21, 22, 23 do 53.º ano — 1940.

GIL VICENTE — Agôsto-Setembro de 1940.

A GRANJA — N.º 1, de 1940.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Novembro de 1940.

JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Outubro de 1940.

NEPTUNO — Outubro de 1940.

O INSTITUTO — Vol. 96 — 1940.

O SOLDADOR-CORTADOR — Maio, Junho e Julho de 1940.

OCIDENTE — Novembro de 1940.

REVISTA DE ARTILHARIA — Outubro de 1940.

REVISTA DOS CENTENÁRIOS — Outubro de 1940.

SEARA NOVA — N.os 693-696.

ARGENTINA

LA INGENIERIA — Agôsto de 1940

CIENCIA Y TÉCNICA — Outubro e Novembro de 1940.

BRASIL

BOLETIM DA REPARTIÇÃO DE ÁGUAS E ESGOTOS — Setembro de 1940.

CRUZ DA MALTA — N.º 20 — 1940.

CHILE

REVISTA DE CAMINOS — Maio-Junho de 1940.

ESPANHA

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS — Novembro de 1940.

HUNGRIA

TECHNIKA — Setembro de 1940.

ITALIA

ANNALI DEI LAVORI PUBLICI — Agôsto e Setembro de 1940.

L'ELECTROTECNICA — 10 Novembro de 1940.

L'INGEGNERE — N.os 9, 10, 71 de 1940.

REVISTA DEL CATASTO E DEI SERVIZI TECNICI ERARIALI — Setembro-Outubro de 1940.

SUECIA

LA REVUE DES ROULEMENTS À BILLES—N.º 3.

SUÍÇA

REVUE BROWN BOVERI — Outubro de 1940.

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA, DOS ALUNOS DO I. S. T.

DIRECTOR: CARLOS KRUS ABECASIS

ADMINISTRADOR: NUNO ABRANTES

BIBLIOTECÁRIO: LUIZ DE ALMEIDA ALVES

CORPO REDACTORIAL: VASCO MENDES DE SOUSA, JOSÉ FARIA DA FONSECA SANTOS, MILITÃO ROSA PEREIRA, SILVÉRIO DA SILVA.

Propriedade e Edição da A. E. I. S. T.

LUSALITE

Rua S. Nicolau, 123 - Telet. 2 2091/2/3 - LISBOA

os técnicos encontram no material "Lusalite" a solução óptima para muitos dos seus problemas de

HIDRÁULICA E

CONSTRUÇÃO CIVIL

Castro e Silva
5/1940

Uma impermeabilização perfeita obtém-se com → **SIKA**

nas construções urbanas, industriais e obras hidráulicas
SUPRIME HUMIDADES
EVITA INFILTRAÇÕES

FABRICANTES
KASPAR WINKLER & C.º
ZURICH
Altstetten (Suissa)

AGENTE-DEPOSITÁRIO EM PORTUGAL:
CARLOS ABREU BAPTISTA
R. da Emenda, 111, 1.º—LISBOA
Telefone 2 6902

EMULSÕES
DE ASFALTO PARA ESTRADAS

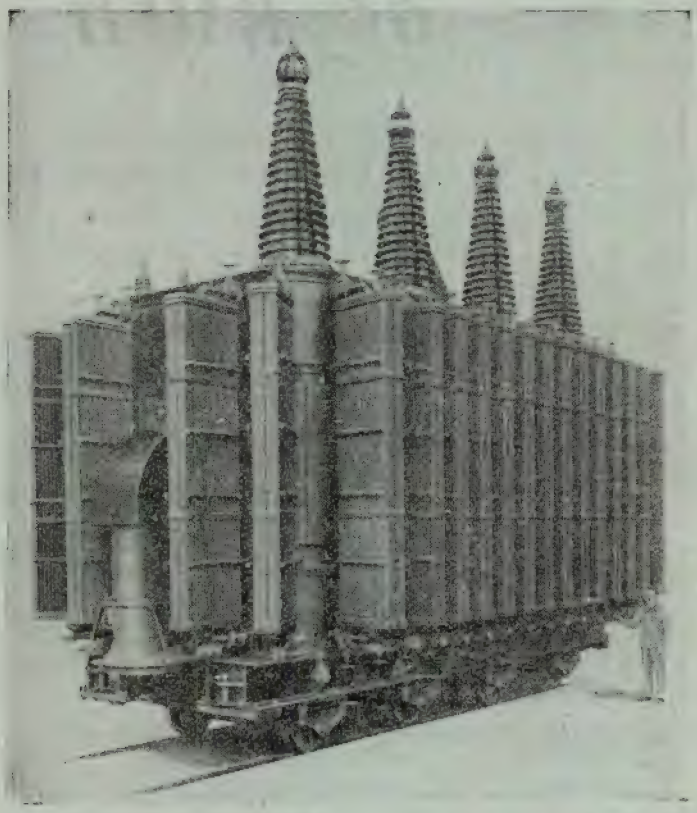
TODOS OS TIPOS E PERCENTAGENS

TELEFONE 2 0879
Telegr. EPALDA-LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Transformador trifasico Alsthom 40.000 kVA, 228 700 / 8.800 volts

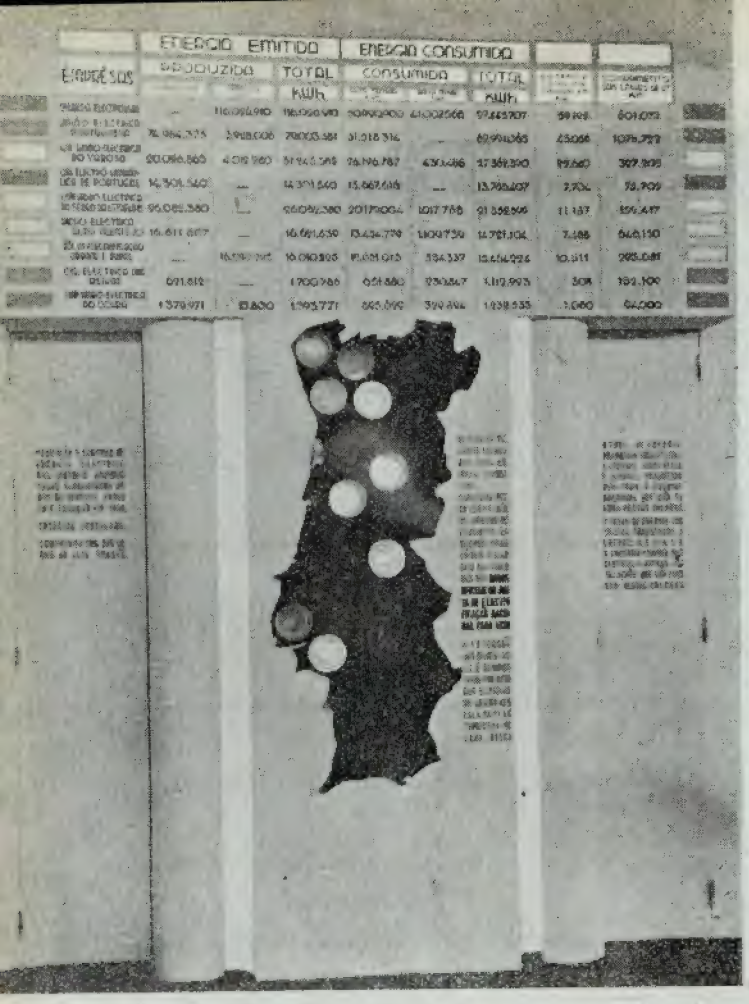
Motores e dinamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas. Tracção eléctrica. Máquinas para soldadura eléctrica. Automotoras Diesel--Eléctricas. Turbinas de vapor. Máquinas frigoríficas. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc.

THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

LISBOA
Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136



Sob o Signo do kWh

A participação das principais Emprêsas produtoras e distribuïdoras de energia eléctrica do país na Exposição Histórica do Mundo Português é a *1.ª exibição em conjunto* dessa corporação filiada na Associação Industrial Portuguesa.

Procuraram estas Emprêsas mostrar as características particulares e essenciais duma Indústria cujas leis de vida e cujo funcionamento são tão diferentes dos de quaisquer outras.

Com exemplos postos ao alcance de todos, quiseram aproximar-se do público inculcando-lhe o abecedário das funções, actividades, riscos e princípios da sua laboração, em prol de um Portugal maior.

A apresentação oportuna dessas fôrças vivas foi feita no ambiente propício da Secção Comercial e Industrial.

Uma demonstração viva, baseada na utilização mais conhecida da energia eléctrica: a luz, constituía uma espécie de intróito do Pavilhão, antes de chegar ao desenvolvimento dos dados e exemplos técnicos, expostos no Centro de Informações e na Sala Principal e que foram apreciados detalhadamente numa brochura que se distribuía no Pavilhão.

Além destas demonstrações de ordem geral, a evolução, as características e as realizações de cada Emprêsa, estavam focadas, com todos os pormenores em foto-montagem ilustrando os painéis especiais referentes a cada Emprêsa representada.

Completava êsse conjunto, de Propaganda educativa, a iluminação espectacular da sala, o Ciclorama da «aldeia mais portuguesa de Portugal», além dos atractivos: produção de electricidade por meio dum dínamo accionado por uma bicicleta e câmara escura apetrechada para medição dos valores de iluminação.

Correia, Santos & Correia, L.da

Largo do Conde Barão, 31
LISBOA
Telefone 6 1738

Grande sortido de ferragens para construção civil

FERRAMENTAS PARA TODAS AS ARTES E OFÍCIOS

MÁQUINAS E METAIS

UTILIDADES DOMÉSTICAS

Granulados de mármores
para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

OS MAIS BONITOS
OS MAIS RESISTENTES
OS MAIS VANTAJOSOS

Soc. Portuguesa CADAN

Rua D. Estefania, 42
Telefone 47812 — Lisboa

FILIAL NO PÔRTO:
GALERIA DE PARIS, 42
TELEFONE 2 254

Tabelas para o Cálculo do Betão Armado

PELO ENGENHEIRO FERNANDO VASCO COSTA

A' venda na Redacção da "Técnica"

OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

EMPRESA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

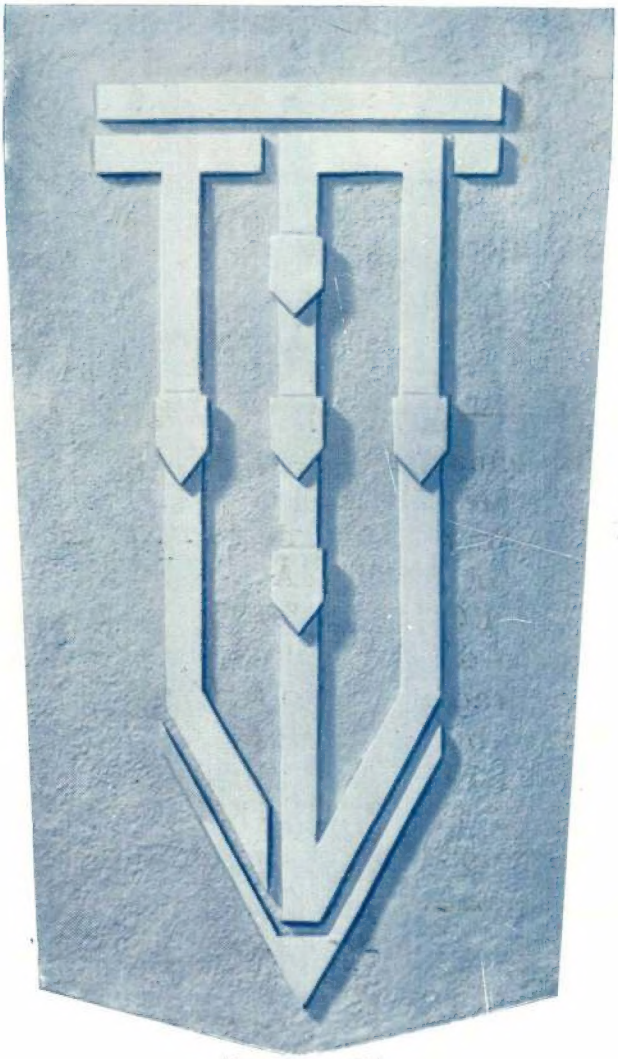
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.

Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.